

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



**Proposta de Melhoria de Eficiência Energética
na FEUP**

Nuno Miguel Ferreira Robalinho

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Major Energia

Orientador: Prof. José Rui da Rocha Pinto Ferreira

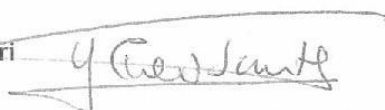
Março 2014

A Dissertação intitulada

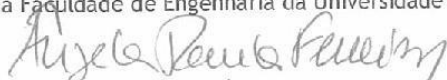
“Proposta de Melhoria de Eficiência Energética na FEUP”

foi aprovada em provas realizadas em 16-04-2014

o júri



Presidente Professor Doutor José Eduardo Roque Neves dos Santos
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Professora Doutora Ângela Paula Barbosa da Silva Ferreira
Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de
Computadores do Instituto Politécnico de Bragança



Professor Doutor José Rui da Rocha Pinto Ferreira
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projeto) é da sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extratos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas usadas, são corretamente citados.



Autor - Nuno Miguel Ferreira Robalinho

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Resumo

A preocupação e sensibilização das instâncias internacionais para a temática da gestão eficiente da energia, aliada à necessidade de redução da dependência energética de recursos de origem fóssil, torna prioritária a implementação de políticas energéticas que visem o desenvolvimento de um modelo de economia e sociedade sustentáveis.

A estipulação de planos nacionais de ação para a área da eficiência energética, por parte dos governos nacionais, é um dos indicadores mais importantes do empenho e comprometimento que os agentes de topo têm vindo a demonstrar no sentido de concretizar as exigências europeias previstas para a área da energia.

Os edifícios públicos assumem-se como uma das categorias de infraestruturas com maior potencial de ação e interesse para aplicação de planos integrados de gestão de energia. Este interesse prende-se com o facto dos edifícios públicos estarem englobados na esfera de ação das administrações locais, pelo que devem servir de modelo aos cidadãos para a promoção de boas práticas de eficiência energética.

Partindo deste princípio, o propósito desta dissertação é o de propor um plano de gestão de energia, com enfoque em medidas de redução de consumos, orientado às infraestruturas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Este plano visa a redução dos custos operacionais e a otimização da prestação de serviços para com a comunidade académica.

Abstract

The concern and awareness of international bodies for the issue of efficient energy management, coupled with the need to reduce energy dependence on fossil resources, makes it a priority to implementation of energy policies aimed at developing a model of sustainable economy and society.

The stipulation of national action plans for the energy efficiency area by the national governments, is one of the most important indicators of the commitment and involvement of top agents towards meeting the European requirements for the energy area.

The public buildings are assumed as one of the categories of infrastructure with greater action potential and interest for the application of integrated energy management plans. This concern relates to the fact that public buildings are encompassed in the scope of local government and should serve as a model for citizens to promote good practice in energy efficiency.

With this assumption, the purpose of this dissertation is to propose a plan for energy management, with a focus on measures aimed at reducing consumptions, oriented to the infrastructures of the Engineering Faculty of Porto University. This plan aims at reducing operating costs and optimizing service delivery towards the academic community.

Agradecimentos

A toda a minha família pelo apoio que sempre manifestaram para comigo ao longo deste percurso, em especial a minha avó e a minha irmã.

Um agradecimento especial ao meu orientador, o professor José Rui Ferreira, por toda a disponibilidade e auxílio prestado desde o processo de escolha do tema até ao término desta dissertação, bem como pelos valiosos conhecimentos transmitidos em todas as etapas da execução do trabalho.

Ao Engenheiro Carlos Alberto Martins, técnico superior dos Serviços Técnicos de Manutenção, pelas importantes informações e elementos que disponibilizou e que em muito contribuíram para a qualidade final desta dissertação.

A todos aqueles que de uma forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

Índice

Resumo	iv
Abstract	vi
Agradecimentos.....	viii
Índice	x
Lista de Figuras	xiv
Lista de Tabelas.....	xvi
Abreviaturas e Unidades	xviii
 Capítulo 1	
Introdução	1
1.1 - Objetivos	3
1.2 - Organização da Dissertação	3
 Capítulo 2	
Desafios da Eficiência Energética	5
2.1 - O Conceito de " <i>Intelligent Energy</i> "	5
2.2 - Desafios do Cliente	7
2.3 - O Impulso À Eficiência Energética.....	8
2.4 - A Mudança de Comportamento do Cliente.....	8
2.5 - Diretivas Europeias.....	9
2.6 - Plano Nacional de Eficiência Energética	10
2.7 - Estratégias para Melhoria da Eficiência Energética	12
2.7.1 - Contrato, Abastecimento e Faturação Energética.....	14

2.7.2 - Monitorização e Controlo.....	14
2.7.3 - Formação e Sensibilização de Recursos Humanos.....	15
2.7.4 - Climatização/Ventilação	16
2.7.5 - Iluminação	18
2.7.6 - Equipamento de Escritório	20
2.8 - Exemplo da Universidade de Nova Iorque.....	21
2.9 - Conclusão	24

Capítulo 3

Sistemas de Iluminação.....	25
3.1 - Diretiva Europeia para a Eficiência Energética em Instalações	25
3.2 - Características Gerais das Lâmpadas.....	27
3.3 - Classificação das Lâmpadas	29
3.4 - Lâmpadas de Descarga	30
3.5 - Lâmpadas Fluorescentes Compactas.....	30
3.6 - Lâmpadas Fluorescentes Tubulares	31
3.7 - Lâmpadas <i>LED</i>	35
3.8 - Comparação entre Tecnologias de Iluminação	36
3.9 - Tipos de Balastros	37
3.9.1 - Comparação da Eficiência entre Balastros para Tensões Reduzidas.....	38
3.9.2 - Sistemas de Regulação para Balastros Eletrónicos	39

Capítulo 4

Caso de Estudo: Auditoria Energética à FEUP.....	41
4.1 - Caracterização da Infraestrutura de Estudo	41
4.2 - Edifício I.....	44
4.3 - Caracterização Geral da Instalação Elétrica	44
4.4 - Rede de Distribuição e Quadros Elétricos	46
4.5 - Contrato de Abastecimento de Energia	48
4.6 - Resultados do Levantamento.....	52

Capítulo 5

Metodologia de Trabalho Desenvolvida.....	57
5.1 - Medição do Diagrama de Cargas no Edifício I	57
5.2 - Análise dos Equipamentos e Sistemas Consumidores de Energia	61
5.2.1 - Sistemas de Iluminação.....	61
5.2.2 - Iluminação das Áreas Administrativas.....	65
5.2.3 - Iluminação dos Corredores e Átrios	66
5.2.4 - Iluminação dos Laboratórios.....	67
5.2.5 - Iluminação dos Gabinetes e Salas de Reuniões.....	67
5.3 - Medição dos Níveis de Iluminância	68

Capítulo 6

Propostas para Melhoria da Eficiência Energética.....	73
6.1 - Consumos e Gastos com os Sistemas de Iluminação e Computadores	73
6.2 - Propostas de Melhoria de Eficiência Energética para os Sistemas de Iluminação .	82
6.2.1 - Projeto de Substituição de Lâmpadas T8 58W por Lâmpadas T5 de 49W	83
6.2.2 - Estudo de Rentabilidade Económica de um Investimento em Lâmpadas T5 de 49W.....	86
6.2.3 - Projeto de Substituição de Lâmpadas T8 18W por Lâmpadas T5 de 14W	89
6.2.4 - Estudo de Rentabilidade Económica de um Investimento em Lâmpadas T5 de 14W.....	92
6.2.5 - Análise dos Resultados das Simulações	95
6.2.6 - Propostas de Melhoria de Eficiência para Corredores e Átrios	96
6.2.7 - Propostas de Melhoria de Eficiência para Laboratórios.....	98
6.2.8 - Propostas de Melhoria de Eficiência para Gabinetes	98
6.3 - Conclusão	100

Capítulo 7

Conclusões e Perspetivas de Trabalho Futuro	101
Referências	105
Anexo A.....	109
Anexo B.....	111

Anexo C.....	113
Anexo D.....	117

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Procura mundial de energia 2000-2030 [3].....	5
Figura 2.2 - Repartição do consumo de eletricidade por utilizador final [3].....	7
Figura 2.3 - Atitude das grandes empresas em relação à eficiência energética [3]	9
Figura 2.4 - Áreas do Plano Nacional de Ação de Eficiência Energética [6]	11
Figura 2.5 - Resumo dos impactos do PNAEE 2016 por programa [6]	12
Figura 2.6 - Decréscimo da intensidade energética anual e das emissões de carbono da universidade de Nova Iorque [10]	22
Figura 3.1 - Etiqueta de classe de eficiência energética de uma lâmpada fluorescente da fabricante Osram [22]	27
Figura 3.2 - Temperaturas de cor [14]	28
Figura 3.3 - Tonalidades produzidas pelas várias temperaturas [16]	28
Figura 3.4 - Grupos de restituição de cores para cada intervalo de IRC [14]	28
Figura 3.5 - Grupos de lâmpadas [15]	29
Figura 3.6 - Lâmpada fluorescente compacta comum [16].....	31
Figura 3.7 - Lâmpada fluorescente compacta do tipo espiral [16].....	31
Figura 3.8 - Lâmpadas fluorescentes tubulares. De cima para baixo respetivamente: T5, T8 e T12 [18].....	32
Figura 3.9 - Comparação dos diâmetros dos vários modelos de lâmpadas fluorescentes tubulares [13].....	33
Figura 3.10 - Lâmpadas <i>LED</i> [16].....	36
Figura 3.11 - Poupanças de energia com balastros eletrónicos simples ou associados a outros dispositivos [25]	40
Figura 4.1 - Novas instalações da FEUP na Asprela [28]	42
Figura 4.2 - Mapa do Campus da FEUP [28]	43

Figura 4.3 - Instalação elétrica que liga o PT2 aos quadros elétricos do edifício I.....	47
Figura 5.1 - Diagrama de Cargas para Sábado	58
Figura 5.2 - Diagrama de Cargas para Domingo.....	59
Figura 5.3 - Diagrama de Cargas para Segunda-Feira.....	60
Figura 5.4 - Diagrama de Cargas para Terça-Feira	60
Figura 5.5 - Planta do Piso 0 do Edifício I, com a codificação das áreas de intervenção	63
Figura 5.6 - Exemplos de luminárias instaladas num espaço administrativo, lâmpadas de 36W	66
Figura 5.7 - Exemplo de luminária utilizada em corredores com penetração de luz natural, lâmpadas de 13W	66
Figura 5.8 - Exemplo de luminária instalada em corredores fechados, lâmpadas de 18W.....	67
Figura 5.9 - Exemplo de luminária instalada em laboratórios, lâmpada de 58W	67
Figura 5.10 - Exemplo de luminária utilizada nos gabinetes, lâmpada de 58W	68

Lista de Tabelas

Tabela 3.1 - Comparação entre T8 e T5 [23]	34
Tabela 3.2 - Comparação dos custos operacionais para diferentes tipos de lâmpadas [24] ...	36
Tabela 4.1 - Tarifas de energia ativa aplicadas à Faculdade de Engenharia	48
Tabela 4.2 - Tarifas de energia reativa e potência aplicadas	49
Tabela 4.3 - Fatura de energia elétrica registada na FEUP, para os primeiros 2 meses de 2013, de acordo com as tarifas aplicadas no mercado liberalizado.....	50
Tabela 4.4 - Simulação da fatura de energia elétrica da FEUP para os primeiros 2 meses de 2013, de acordo com as tarifas transitórias aplicadas a clientes MT do mercado regulado	51
Tabela 4.5 - Contabilização dos equipamentos instalados no edifício I	54
Tabela 5.1 - Sistemas de Iluminação do Piso 0	63
Tabela 5.2 - Iluminâncias por classe de tarefas visuais [29]	69
Tabela 5.3 - Valores de Iluminância no Piso 0	70
Tabela 6.1 - Custos Mensais	78
Tabela 6.2 - Custos operativos das lâmpadas T8 de 58W instaladas nos corredores e átrios durante um ano de funcionamento	84
Tabela 6.3 - Custos operativos das lâmpadas T5 de 49W instaladas nos corredores e átrios durante um ano de funcionamento	85
Tabela 6.4 - Estudo de Rentabilidade Económica por Investimento em Lâmpadas T5 de 49W	88
Tabela 6.5 - Custos operativos das lâmpadas T8 de 18W instaladas nos corredores e átrios durante um ano de funcionamento	90
Tabela 6.6 - Custos operativos das lâmpadas T5 de 14W instaladas nos corredores e átrios durante um ano de funcionamento	91
Tabela 6.7 - Estudo de Rentabilidade Económica por Investimento em Lâmpadas T5 de 14W	94

Abreviaturas e Unidades

Lista de abreviaturas

AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
EDP	Energias de Portugal
ERSE	Entidade Reguladora para os Serviços Energéticos
EU	União Europeia
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
LED	Díodos Emissores de Luz
MT	Média Tensão
PNAEE	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
PT	Posto de Transformação
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
QGE	Quadro Geral de Emergência
QGIE	Quadro Geral da Instalação de Emergência
QGIN	Quadro Geral da Instalação Normal
SGCIE	Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia
STM	Serviços Técnicos de Manutenção
TIR	Taxa Interna de Rentabilidade
VAL	Valor Atual Líquido

Lista de unidades

°C	Graus Celsius
cos \varnothing	Fator de Potência
Hz	Hertz
K	Kelvin
lm	Fluxo Luminoso
lux	Iluminância

W	Watt
Wh	Watt-hora

Capítulo 1

Introdução

O conceito de eficiência energética é hoje em dia um aspeto muito importante na estratégia de desenvolvimento das sociedades modernas, podendo ser considerada uma área de ação que incide diretamente sobre o ambiente e economia. O objetivo principal subjacente a este conceito é o de racionalização dos recursos energéticos, por forma a reduzir os custos associados aos processos de produção, transporte e consumo, sem que para tal se comprometa o nível de competitividade ou eficiência do processo ou infraestrutura.

Este tema tem sido largamente debatido na sociedade civil e pelas instituições governamentais, de tal forma que existe hoje legislação a incidir sobre esta área e mesmo metas a cumprir resultantes de protocolos envolvendo as instâncias internacionais.

Um dos programas de ação a nível nacional é o Programa para a Eficiência Energética em Edifícios - P3E, promovida pela Direção Geral de Geologia e Energia em 2001. Com a criação de um Sistema de Certificação Energética, espera-se que futuramente todos os edifícios sejam avaliados pelo seu consumo energético, com a emissão de certificados energéticos, à semelhança dos eletrodomésticos. Atualmente, são já objeto de avaliação as condições de conforto térmico e de higiene em todas as novas construções, a melhoria da eficiência energética global dos edifícios, em todas as suas formas de consumo de energia, e a imposição de regras que permitam uma melhor eficiência nos sistemas de climatização. [1]

Em paralelo com esta iniciativa, existe a Estratégia Nacional para a Energia, de 2005, cujos princípios que mais diretamente se interrelacionam com a área da eficiência energética são o do estímulo à competitividade das empresas do setor da energia e do tecido produtivo nacional em geral e a garantia da adequação ambiental de todo o processo energético. Daqui resultou um programa de reestruturação do setor energético do país com linhas de orientação entre as quais se destacam a promoção da eficiência energética, o aprovisionamento público “energeticamente eficiente e ambientalmente relevante” e a comunicação, sensibilização e avaliação da estratégia nacional para a energia. [1]

Ao longo desta dissertação pretende-se analisar os consumos energéticos globais dos edifícios que compõem a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP, realçando a importância de uma gestão energética eficiente em edifícios de interesse público.

O resultado desta análise consiste na elaboração de um plano estruturado que apresente medidas de racionamento de consumo de energia elétrica, medidas estas que permitam uma redução de custos e contribuam para um modelo de gestão sustentável da infraestrutura.

Os custos de consumo de eletricidade apresentam-se como custos operacionais num negócio de gestão de uma infraestrutura, sendo que estes custos são apontados como uma das três principais formas de despesa geral por muitas empresas a nível europeu. Este facto é suportado pelo crescente aumento dos preços de eletricidade. [1]

Por exemplo, para todos os consumidores industriais médios o preço da eletricidade terá aumentado cerca de 50% desde 2000. Este preço inclui não só as vertentes associadas à produção, transporte e distribuição, mas também os encargos a nível de impostos que a transação deste bem acarreta. As previsões atuais vaticinam que, devido às restrições impostas pela União Europeia relativamente aos objetivos climáticos a atingir em 2020, o preço da eletricidade para clientes industriais aumente ainda mais nos anos vindouros. [2]

De acordo com um estudo referente ao ano de 2012, menos de um terço das empresas implementou um sistema de gestão ambiental e energético, mas as expectativas apontam para uma aposta crescente destas em estratégias de gestão energética. Cerca de 23,6% das empresas está a desenvolver esses sistemas de gestão e 9% está pelo menos no processo de planeamento. Estes sistemas têm de cumprir determinadas normas e visam a satisfação de importantes necessidades, entre as quais:

- Controlo do consumo de energia;
- Redução dos custos de energia;
- Melhoria das condições de trabalho e de produção;
- Preparação para as variações no preço da energia;
- Redução das emissões de gases de efeito de estufa;
- Satisfação das metas governamentais. [2]

A obtenção destes objetivos depende de uma eficiente caracterização de todas as formas de consumo de energia de um edifício, conforme a especificidade da sua atividade ou fim. Este processo denomina-se como uma auditoria, e resulta em estratégias de gestão de energia diferentes conforme o edifício seja composto por gabinetes/escritórios, armazéns, oficinas ou outros. Esta auditoria apresentará informações sobre:

- Consumo para cada necessidade (iluminação, aquecimento, arrefecimento, água, outros) e sazonalidade;
- Fonte de energia (gás, eletricidade, outros);

- Tipo de equipamento usado;
- Fator humano;
- Desperdício de energia e reciclagem;
- Obrigações legais.

Para cada área o programa de gestão definirá objetivos, monitorizará e corrigirá se necessário, e definirá funções e responsabilidades. [2]

1.1 Objetivos

Com o desenvolvimento deste estudo de eficiência energética à FEUP pretendem-se alcançar os seguintes objetivos:

- Análise do panorama atual da FEUP enquanto cliente de média tensão da rede elétrica, e posição no mercado liberalizado de eletricidade;
- Fundamentação de medidas de racionamento de energia elétrica com base numa recolha de informação que visa o levantamento das formas de consumo, com uma caracterização por tipo ou classe de equipamento;
- Estruturação de uma proposta para melhoria da eficiência energética da infraestrutura por grupo de consumo.

1.2 Organização da Dissertação

Esta dissertação é constituída por 7 capítulos, a que se acrescentam as referências e os dados de anexo.

No capítulo 1 encontra-se a introdução do trabalho, em que se aborda a motivação e o enquadramento do caso de estudo, os objetivos propostos e a estruturação deste mesmo documento.

O capítulo 2 aborda o estado da arte no que concerne à área da eficiência e gestão energética, legislação em vigor, bem como a temática das auditorias energéticas. Serão apresentadas soluções tecnológicas ou planos de ação que podem ser tomados para se conseguirem ganhos de eficiência em edifícios e análise de modelos de gestão sustentável implementados noutros casos de estudo com objetivos semelhantes.

O capítulo 3 será dedicado aos sistemas de iluminação eficientes, tomando em consideração a fatia de consumo energético que este grupo de equipamentos representa e a sua transversalidade. Serão apresentadas tecnologias que permitem obter índices de luminosidade que cumprem os padrões de qualidade exigidos, garantindo simultaneamente uma eficiência superior às tecnologias de iluminação tradicionais.

O capítulo 4 é dedicado á apresentação do caso de estudo, a FEUP enquanto infraestrutura, com análise para a sua disposição e decomposição por edifícios.

No capítulo 5 será apresentada a metodologia de trabalho e a estratégia de abordagem ao problema. Será feito um histórico das ações desenvolvidas no decorrer do trabalho, as ferramentas de apoio utilizadas em cada ponto e principais observações retiradas.

O capítulo 6 será dedicado à apresentação dos dados decorrentes da execução das atividades detalhadas no capítulo 5. Para cada ponto de trabalho será feita uma análise de pertinência dos resultados obtidos, bem como a sua justificação técnica. Será neste capítulo que serão apresentadas as principais propostas para melhoria da eficiência energética do caso de estudo.

No capítulo 7 serão mostradas as principais conclusões do trabalho desenvolvido, as dificuldades decorrentes da execução do mesmo e as perspectivas de propostas para melhorias futuras.

Capítulo 2

Desafios da Eficiência Energética

2.1 O Conceito de “*Intelligent Energy*”

Integrado na necessidade e consciencialização da sociedade para um uso mais eficiente da energia, e aliada à procura mundial crescente deste bem, surgiu o conceito de “*Intelligent Energy*”. Associado a este conceito está a necessidade de alcançar níveis sustentáveis e eficientes nos processos de geração, entrega e consumo de energia. A Figura 2.1 apresenta uma perspetiva da procura da energia por região do globo, sendo que, para 2030 é esperado que esta procura seja o dobro da que foi registada em 2000. [3]

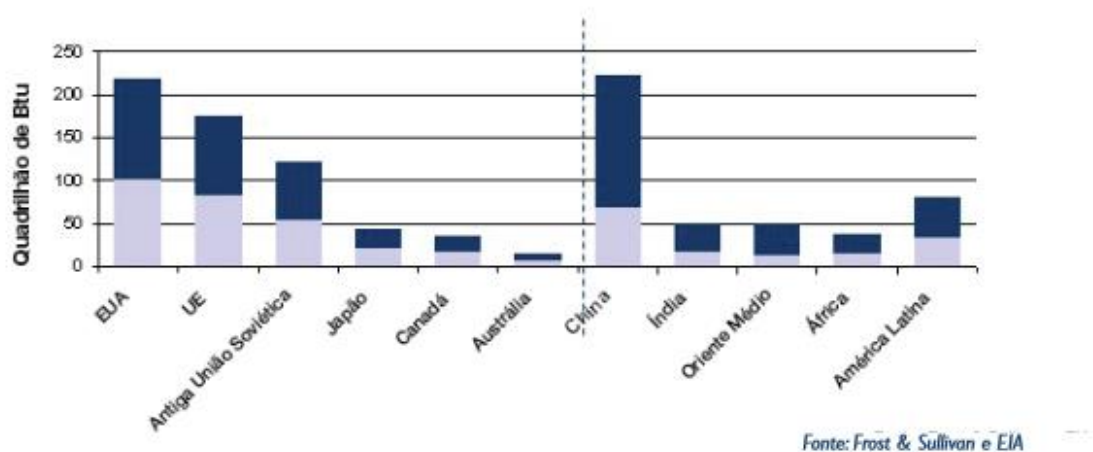


Figura 2.1 - Procura mundial de energia 2000-2030 [3]

Hoje em dia, as soluções de ponta relacionadas com a energia combinam uma capacidade adicional de geração - energia provenientes de fontes renováveis - com melhor eficiência de uso. A inteligência digital, também chamada de tecnologia inteligente representa um papel enorme em quase todos os elementos desta solução. No lado do fornecimento o desafio é modernizar de forma eficiente as redes de distribuição e transporte enquanto se incorpora

simultaneamente um catálogo mais diverso de tecnologias geradoras de energia, enquanto no lado da procura existe uma grande oportunidade de otimizar o consumo no ponto de uso. Com a tecnologia de hoje, o mundo poderia operar com o mesmo nível de funcionalidade e conforto usando 30% menos energia. [4]

Uma solução inteligente reveste a geração, transmissão, distribuição e infraestrutura de gestão das redes elétricas com uma infraestrutura de comunicação e de computação, que viabiliza a recolha de dados e o controlo de dispositivos para medição e gestão de energia, eficiência, fiabilidade, segurança e controlo de custos. [1]

Os edifícios são responsáveis por grandes impactos no meio urbanístico que integram, sendo que a eles estão associados cerca de 40% do consumo de energia e 13,6% do consumo de água. São estruturas que se caracterizam portanto por contribuírem para um esgotamento importante dos recursos enquanto parte fundamental da sociedade moderna. [4]

Os sistemas de aquecimento, refrigeração e iluminação integrados em edifícios apresentam-se como os maiores consumidores de energia e responsáveis por aproximadamente 25% das emissões de CO₂ no mundo. A cada dia são construídos novos edifícios que usam mais energia do que o necessário e milhões de edifícios ineficientes de hoje continuarão de pé até 2050. [4]

As inovações do mercado nos últimos anos ao nível das soluções tecnológicas permitem hoje a instalação de sistemas completos de gestão de edifícios, soluções estas em que se englobam, entre outros, aparelhos de medição e controlo inteligentes ou sensores. A gama de soluções disponíveis pode ser aplicada a grandes infraestruturas de consumo, como indústrias, ou a pequenos consumidores residenciais.

Na Figura 2.2 temos uma representação das fatias de energia consumida por parte dos vários setores de atividade da sociedade, respetivamente, transporte, residências, serviços, indústria e comércio, com a desagregação dos sistemas consumidores de energia em detalhe para o setor da indústria e comércio (terciário).

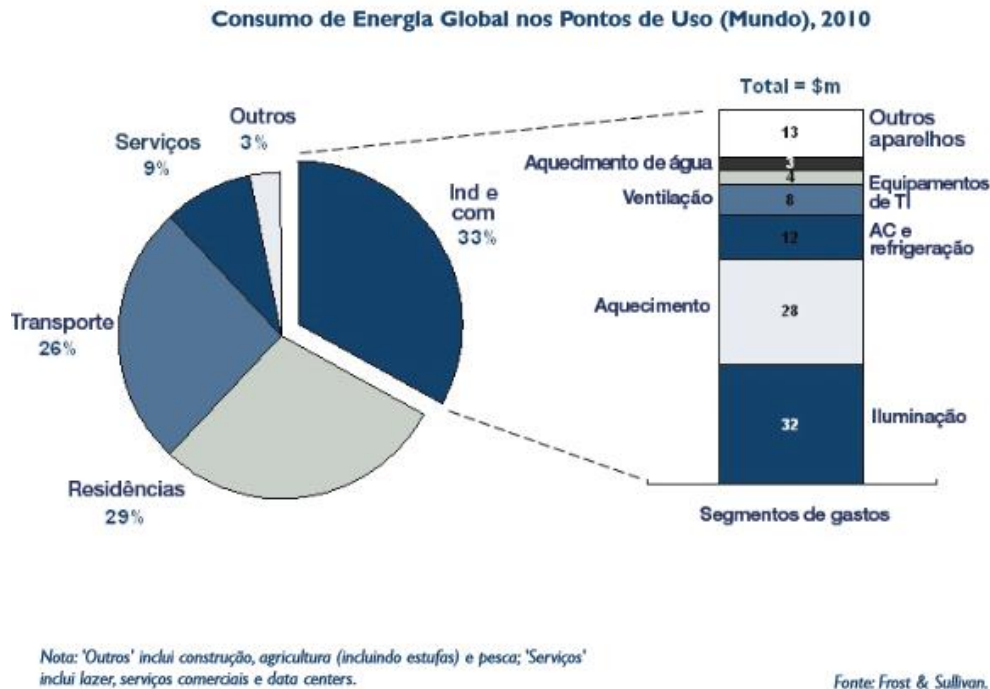


Figura 2.2 - Repartição do consumo de eletricidade por utilizador final [3]

2.2 Desafios do Cliente

De acordo com o artigo “A Chave para Edifícios Sustentáveis e com Melhor Relação Custo-Benefício: *Intelligent Energy*” produzido pela Frost & Sullivan, e passando a citar: “A otimização de processos requer uma recolha de informação fidedigna por parte do utilizador final que permita uma melhor abordagem aos desafios propostos. O acesso, monitorização e controlo de dados e equipamentos, quando possíveis, redundam em vários benefícios, sendo que é estimado um potencial médio de economia de energia de 20% a 30% em todos os processos de edifícios comerciais e industriais.” [3]

O mesmo documento refere ainda que, e citando novamente: “Investimentos em geração, transmissão e distribuição serão cruciais para a definição e a melhoria dos futuros sistemas de fornecimento de energia elétrica, mas em última análise, será a gestão inteligente do consumo de energia em edifícios ou casa inteligentes que permitirá que a rede faça verdadeiras economias. Com o aumento no preço da energia e a crescente pressão para se ser de facto energeticamente eficiente, surge uma procura cada vez maior para a gestão do edifício inteiro com um sistema integrado. Este sistema permitiria que os gerentes do edifício otimizem os benefícios e potenciais economias quando os equipamentos associados com diversos sistemas (ex.: AVAC, incêndio e segurança) e/ou diferentes prédios são reunidos num único sistema consistente de automação e controlo.” [3]

2.3 O Impulso À Eficiência Energética

Atualmente, várias organizações governamentais trabalham através de mecanismos de legislação e incentivos, no sentido de aumentar a eficiência energética dos edifícios e da indústria. Esta mesma legislação obrigará as empresas e pessoas a implementarem níveis mínimos de boas práticas ou a arcarem com as penalidades previstas. O investimento em equipamento energeticamente eficiente e planos integrados de melhoria de consumos está-se portanto a tornar uma obrigação, não uma opção. [4]

Estas regulamentações traduzir-se-ão em impactos não apenas nas novas construções e instalações, mas também nos edifícios, indústrias e infraestruturas já existentes. Estudos sobre o comportamento do cliente em relação à eficiência energética confirmam que as principais questões giram em torno do comportamento humano, das finanças, da motivação pessoal e do conhecimento das oportunidades que existem. A legislação e a educação podem representar um papel importante no suporte de decisão de implementação de medidas relacionadas com a eficiência energética, no entanto, nenhuma lei por si só é capaz de orientar as condições de mercado. [4]

2.4 A Mudança de Comportamento do Cliente

A Frost & Sullivan aponta também a mudança comportamental de todos os intervenientes como um dos fatores mais decisivos para o sucesso final da implementação de um projeto sustentável, ao afirmar “As soluções de gestão de energia mais bem-sucedidas são projetadas para criar verdadeiras mudanças na forma de gestão e de consumo de energia nas instalações. Isso requer mudanças reais de comportamento e um claro entendimento do investimento necessário para o distanciamento das práticas de longa data. O desafio para fornecedores neste mercado é apresentar uma solução ao cliente com as quais ele se possa identificar rapidamente e que lhe permita modificar com facilidade o seu comportamento e a sua atitude em relação à gestão de energia. Sem a necessidade de grandes investimentos, um sistema inteligente de gestão de energia transforma o uso da energia passiva em otimização de energia ativa ao oferecer aos clientes o controlo que desejam e a economia necessária.” [3]

Hoje em dia, a gestão de energia continua a ser uma atividade passiva em muitos casos, o que restringe o alcance e penetração das soluções inteligentes. Além disso, embora questões ambientais como a redução da pegada de carbono estejam a ganhar relevância em decisões que giram em torno da atualização de equipamentos realizada para aumentar a eficiência energética, o principal motivo das mudanças feitas ainda é a redução de custos. Importa também salientar a importância de se obterem com estes investimentos custos reduzidos de

ciclo de vida e períodos relativamente curtos de recuperação de investimento. A ilustrar este paradigma que se verifica atualmente a nível empresarial, tome-se em atenção a Figura 2.3.

A Atitude das Grandes Empresas em relação à Eficiência Energética em Edifícios (Global), 2010

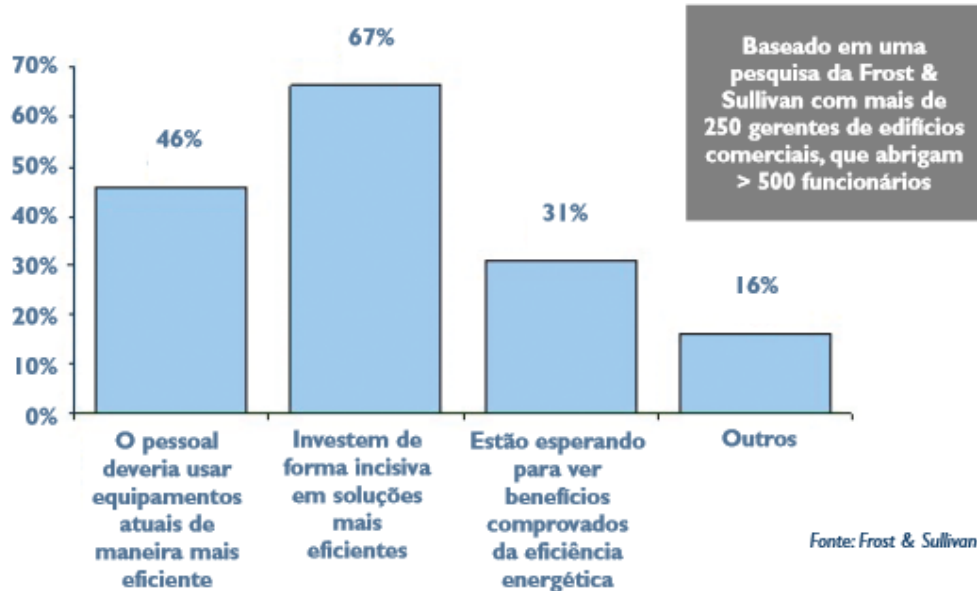


Figura 2.3 - Atitude das grandes empresas em relação à eficiência energética [3]

De referir ainda que os líderes de setores são pessoas proactivas, que estão à frente da concorrência por otimizarem a sua eficiência, e não esperam a entrada em vigor de novas regulamentações ou a acentuação dos custos de energia para a tomada de tal decisão. [3]

2.5 Diretivas Europeias

A diretiva 2012/27/EU estabelece um quadro comum de medidas para a promoção da eficiência energética da União Europeia, a fim de assegurar a realização do objetivo em 2020 de 20% sobre a eficiência energética e para abrir o caminho para novas melhorias para além dessa data. A diretiva denota claramente a importância de soluções de monitorização da energia e instrumentos de medição. Todos os Estados-Membros da União Europeia devem estabelecer medidas a fim de utilizar a energia de forma mais eficiente em todas as fases da cadeia, a partir da transformação de energia e sua distribuição até ao consumo final. [5]

Com vista a este fim, a diretiva estabelece alguns objetivos gerais, nomeadamente:

- Criação de um regime de obrigação de eficiência energética, assegurando que as distribuidoras de energia e/ou empresas de energia a retalho são sujeitas à obrigação de alcançar um acumulado de poupança no utilizador final de energia;

- Obrigação de distribuidoras de energia e empresas de energia a retalho de reduzir as vendas anuais de energia a clientes finais;
- Promoção da disponibilidade de auditorias energéticas de baixo custo para os clientes finais;
- Fornecimento de contadores de energia individuais, refletindo real consumo total de energia do cliente final;
- Dar aos consumidores acesso a informações claras e precisas sobre a medição e faturação de energia;
- Promoção da eficiência no aquecimento e arrefecimento;
- Garantia altamente eficiente de transformação de energia, transmissão e distribuição.

2.6 Plano Nacional de Eficiência Energética

O PNAEE 2016 - Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética até 2016 - é um instrumento de planeamento energético que estabelece o modo de alcançar as metas e compromissos internacionais assumidos por Portugal em matéria de eficiência energética. Para além da densificação das metas a atingir, o referido Plano identifica as barreiras existentes, bem como o potencial de melhoria em matéria de eficiência energética e de incorporação de energia proveniente de fontes renováveis nos vários setores de atividade. [6]

No que respeita à eficiência energética, este programa tem prevista uma poupança induzida de 8,2% de energia, próxima da indicativa de poupança definida pela União Europeia de 9% até 2016. Os contributos na redução dos consumos energéticos estão distribuídos pelos vários setores de atividade. Após a revisão mais recente deste documento (a primeira versão data de 2008, com um plano de tempo até 2015), os planos de ação passam a estar divididos por 6 áreas específicas (Figura 2.4):

- Transportes;
- Residencial e Serviços;
- Indústria;
- Estado;
- Comportamentos e Agricultura.

Estas áreas agregam um total de 10 programas, com um leque de medidas de melhoria da eficiência energética, orientadas para a procura energética e que, de uma forma quantificável e monitorizável, visam alcançar os objetivos propostos. [7]

ÁREAS						
Transportes		Residencial e Serviços	Indústria	Estado	Comportamentos	Agricultura
PROGRAMAS	Eco Carro	Renove Casa & Escritório	Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia	Eficiência Energética no Estado	Comunicar Eficiência Energética	Eficiência no setor Agrário.
	Mobilidade Urbana	Sistema de Eficiência Energética nos Edifícios				
	Sistema de Eficiência Energética nos Transportes	Solar Térmico				

Figura 2.4 - Áreas do Plano Nacional de Ação de Eficiência Energética [6]

A área dos Transportes integra os seguintes programas de melhorias da eficiência energética:

- Eco Carro - Agrega as medidas direcionadas para a melhoria da eficiência energética nos veículos;
- Mobilidade Urbana - Abrange as medidas relacionadas com a necessidade de incentivar a utilização de transportes coletivos e de modos suaves de transporte em detrimento do transporte individual motorizado, com um enfoque particular nas zonas urbanas;
- Sistema de Eficiência Energética nos Transportes - Integra medidas que visam dinamizar a utilização das redes ferroviárias de passageiros, bem como a gestão energética das frotas de transportes.

A área Residencial e Serviços integra os seguintes programas de melhoria da eficiência energética:

- Renova Casa e Escritório - Integra um conjunto de medidas destinadas a potenciar a eficiência energética na iluminação, eletrodomésticos e reabilitação de espaços;
- Sistema de Eficiência Energética nos Edifícios - Reúne as medidas que resultam do processo de certificação energética nos edifícios;
- Integração de Fontes de Energia Renováveis Térmicas/Solar Térmico - Relativo às medidas dirigidas à promoção de uma maior integração de fontes de energia renováveis nos edifícios e equipamentos residenciais e de serviços.

A área da Indústria é abrangida por um programa designado por Sistema de Eficiência Energética na Indústria, que inclui a revisão do SGCIE (Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia), continuando a destacar-se as medidas transversais no setor industrial e outras medidas setoriais para a eficiência no processo industrial.

A área do Estado é agrupada num programa designado por Eficiência Energética no Estado, com um conjunto de medidas dirigidas à certificação Energética dos edifícios do Estado, designadamente no âmbito do Programa de Eficiência Energética na Administração Pública - ECO.AP, frotas de transporte do Estado e à Iluminação Pública (IP).

A área da Agricultura é abrangida por um programa designado Eficiência Energética no Setor Agrário e tem como objetivo agrupar e dinamizar as ações realizadas neste setor com vista a induzir a redução de consumos energéticos.

A área de Comportamentos integra medidas que visam promover hábitos e atitudes de consumidores energeticamente eficientes, como sejam a recomendação de produtos eficientes, através de campanhas de sensibilização e comunicação. Estas medidas visam potenciar as oportunidades de eficiência energética de todas as áreas do PNAEE. Por serem de mais difícil monitorização e quantificação, o respetivo contributo é adicional à meta estabelecida para o PNAEE 2016. [6]

O resumo das potenciais poupanças apresenta-se na Figura 2.5.

Programa	Potenciais Economias (tep)	%	Meta 2016 (tep)
Transportes	344.038	23%	1.501.305
Residencial e Serviços	634.265	42%	
Indústria	365.309	24%	
Estado	106.380	7%	
Comportamentos	21.313	1%	
Agricultura	30.000	2%	

Figura 2.5 - Resumo dos impactos do PNAEE 2016 por programa [6]

2.7 Estratégias para Melhoria da Eficiência Energética

Nesta secção do documento será feita uma análise da abordagem a tomar na implementação de um sistema de gestão energética a um edifício ou processo produtivo. Assim,

será detalhado um conjunto de possíveis medidas que visam otimizar a eficiência energética para cada um dos seguintes processos ou equipamentos:

- Sistemas AVAC;
- Iluminação;

O foco nas propostas de melhoria para estes dois sistemas prende-se com a configuração da infraestrutura de estudo, cujos propósitos principais são o de trabalho em gabinetes ou escritórios e ensaios em laboratórios por parte de estudantes, docentes ou corpo técnico no âmbito da atividade quotidiana da FEUP.

Como já referido em pontos anteriores deste documento, uma das etapas mais importantes na implementação de um programa de eficiência energética diz respeito ao processo de avaliação e monitorização.

Dependendo da especificidade da instalação, deverão ser definidos indicadores de eficiência, assim como metodologias de ajuste dos consumos de referência em função das variáveis independentes e fatores estáticos com influência nos consumos de água e energia. Algumas das tarefas englobadas no âmbito do processo de avaliação e monitorização apresentam-se seguidamente:

- Medição e verificação do desempenho energético da instalação e, quando necessário, de determinados processos, sistemas e/ou unidades. Monitorizar a sua evolução ao longo do tempo ou após a aplicação de medidas de eficiência energética;
- Identificação e registo dos limites adequados associados aos indicadores;
- Definição de indicadores energéticos, tais como:
 - Potência instalada em cada sistema por unidade de superfície ou de produção;
 - Consumo de cada um dos tipos de energia consumida por unidade de superfície ou de produção;
 - Consumo em cada ciclo de operação para cada atividade.
- Identificação e registo dos fatores que fazem variar a eficiência energética dos processos sistemas e/ou unidades correspondentes:
 - Avaliação comparativa - Proceder a comparações sistemáticas e regulares com valores de referência setoriais, nacionais ou regionais, sempre que existam dados;
 - Acompanhamento e medição - Estabelecer e manter procedimentos documentados para o seguimento e medição regulares das principais características das operações e atividades que possam ter impacto significativo na eficiência energética.
- Aquisição e reforço de competências em eficiência energética e em sistemas consumidores de energia através de:

- Recrutamento de pessoal especializado e/ou formar pessoal. A formação poderá ser prestada por pessoal interno ou por peritos externos, através de cursos ou de autoformação e desenvolvimento pessoal;
 - Partilha de recursos internos da instalação;
 - Recurso a consultores com as competências necessárias e/ou à contratação externa de sistemas, funções especializadas, etc.
- Realização de auditorias que garantam a identificação de aspetos como:
 - Consumos globais associados às diferentes formas de energia utilizadas na instalação;
 - Condições de fornecimento e de utilização;
 - Balanços dos principais equipamentos e sistemas consumidores de energia;
 - Desagregação dos consumos de energia por principais equipamentos e sistemas consumidores de energia, identificando potenciais medidas de racionalização dos consumos de energia. [7]

2.7.1 Contrato, Abastecimento e Faturação Energética

Algumas medidas que devem ser asseguradas na gestão da eficiência energética em função das variáveis, abastecimento e faturação energética são listadas de seguida:

- Escolher o tipo de energia mais adequado para o processo produtivo, do ponto de vista técnico, económico e ambiental;
- Estudar a modalidade de contratação para cada uma das energias;
- Ajustar de forma adequada a tarifa ao consumo diário de gás e de energia elétrica;
- Melhorar o fator de potência da instalação (redução da potência reativa consumida e emitida);
- Verificar o fornecimento de energia elétrica para eliminar ou reduzir eventuais harmónicos e se necessário aplicar filtros;
- Analisar a possibilidade de alterar os consumos de hora de ponta para horas de baixo consumo e/ou de tarifa reduzida;
- Analisar periodicamente a faturação.

2.7.2 Monitorização e Controlo

Para implementar um sistema de monitorização terão que ser adotadas algumas medidas como as que se apresentam de seguida:

- Realizar um diagnóstico energético às instalações por forma a:
 - Identificar e definir os principais equipamentos e sistemas consumidores de energia;

- Avaliar a necessidade de colocação de aparelhos de medida nas instalações;
- Estabelecer metas de redução do consumo energético;
- Implementar medidas para o aumento da eficiência energética.
- Garantir um controlo efetivo dos processos através da aplicação de técnicas como:
 - A implantação de sistemas que garantam que os procedimentos sejam conhecidos, entendidos e cumpridos;
 - A garantia da identificação, da otimização em termos de eficiência energética e do seguimento dos principais parâmetros de desempenho dos processos;
 - A documentação ou o registo desses parâmetros.
- Monitorizar periodicamente os consumos de energia e a produção e proceder a uma atualização das metas sempre que se justifique;
- Estabelecer e manter procedimentos documentados para o seguimento e medição regulares das principais características das operações e atividades que possam ter impacto significativo na eficiência energética.

2.7.3 Formação e Sensibilização de Recursos Humanos

A sensibilização e formação nesta área faz parte do sistema de gestão de energia numa empresa ou instituição. Temos portanto as seguintes recomendações:

- Realizar ações de sensibilização e formação sobre os seguintes temas:
 - Impactos ambientais da utilização de energia;
 - Benefícios da economia de energia;
 - Dependência energética da empresa e o que esta pode fazer para economizar energia;
 - Atitude cívica individual para economizar energia.
- Informar e comunicar aos colaboradores as medidas de poupança de energia que a empresa quer adotar;
- Implementar a figura do gestor de energia (como agente responsável pelos programas de gestão eficiente da energia e pelas auditorias energéticas);
- Promover a participação dos colaboradores na gestão energética (caixa de sugestões).

2.7.4 Climatização/Ventilação

Os custos energéticos associados aos sistemas AVAC podem representar uma percentagem significativa do consumo global de uma instalação, e portanto há que ter em atenção este aspeto, embora com medidas muito simples, como um controlo adequado da regulação da temperatura ambiente, o mesmo se possa reduzir de forma considerável. [7]

Ao projetar um sistema de climatização vários fatores devem ser considerados: localização, ocupação e utilização a climatizar (diferente se for uma nave industrial ou uma sala de escritório).

Algumas das medidas a ter em conta são portanto:

- Implementar isolamento extra nas coberturas dos edifícios;
- Calafetar portas e janelas;
- Alertar para a conveniência de fechar portas e janelas nos períodos de climatização;
- Implementar um sistema de gestão de energia controlando os sistemas de climatização instalados, nomeadamente com o recurso a termóstatos;
- Instalar termóstatos para controlo eficaz das temperaturas;
- Garantir que a temperatura de regulação dos termóstatos não ultrapassa a temperatura de conforto.
- Retificar e reduzir a temperatura de aquecimento durante os períodos em que não há utilização dos espaços ou naquelas zonas onde não é preciso um nível elevado de aquecimento;
- Evitar o uso excessivo dos termóstatos e impedir que sirvam como interruptores;
- Analisar a possibilidade de substituir os termóstatos bimetalicos por termóstatos eletrónicos;
- Retificar os ajustes de termóstatos anti-gelo;
- Introduzir a medida de baixar o nível de aquecimento quando esteja calor em vez de abrir as janelas;
- Instalar unidades de climatização adequadas aos espaços. Evitar o sobredimensionamento dos equipamentos;
- Montar os equipamentos de ar condicionado em locais frescos, ventilados e à sombra;
- Verificar que não se obstruem as superfícies de calor para não diminuir a sua eficiência;
- Verificar se existem fontes de calor indesejadas, tais como tubagens mal isoladas que originam um maior gasto de ar condicionado;

- Garantir que as superfícies de permuta de calor e os filtros dos aparelhos de ventilação são limpos periodicamente;
- Retificar o lugar de localização dos termóstatos e sensores de temperatura, assegurando-se de que estejam numa zona do espaço a climatizar;
- Se não existe no sistema de climatização a possibilidade de programação temporal, instalar crono-termóstatos eletrónicos que permitam ajustes semanais, diários e horários;
- Verificar se a fatura elétrica está otimizada caso se utilize aquecimento elétrico. Analisar a possibilidade de trocar o sistema de aquecimento por outro a gás ou gasóleo;
- Assegurar-se que o ajuste dos equipamentos de ar condicionado e aquecimento não permite o funcionamento em simultâneo;
- Analisar a possibilidade de recuperar o calor resultante da extração de ar quente das zonas de trabalho;
- Comprovar o correto funcionamento das válvulas e dos ventiladores dos equipamentos de aquecimento e ventilação;
- Selecionar o ventilador mais adequado. Se o sistema de ventilação dispõe de ventiladores monofásicos analisar a possibilidade de os substituir por ventiladores trifásicos, quando a rede assim o permitir;
- Determinar a velocidade do ar como parte do projeto de dimensionamento;
- Verificar e otimizar o sistema de ventilação ajustando os variadores à velocidade adequada e realizar inspeções e limpezas periódicas;
- Selecionar o tipo adequado de motor para o ventilador. Considerar o uso de motores de alta eficiência nos ventiladores;
- Efetuar uma instalação correta;
- Desligar os ventiladores de extração quando não são necessários;
- Efetuar manutenção regular com limpeza periódica dos filtros, verificar o correto funcionamento das válvulas e dos ventiladores;
- Efetuar uma revisão anual;
- Analisar a possibilidade de modificar o sistema de ventilação para incorporar a recirculação de ar caso esta não exista;
- Ajustar o sistema de despoeiramento para a velocidade de arrastamento das poeiras a aspirar;
- Implementar um sistema de ajuste do fluxo de ar às necessidades;
- Analisar a possibilidade de instalar bombas de calor;
- Analisar se a chaminé está bem estruturada em relação ao ar extraído;

- Ponderar a possibilidade de utilizar cortinas de ar nas portas que permanecem de forma habitual abertas e que pressupõem uma zona de separação entre zona climatizada e outra não climatizada;
- Colocar hipótese de refrigeração *Free Cooling* no sistema de climatização.

2.7.5 Iluminação

Os sistemas de iluminação são responsáveis em média por um consumo entre 5 e 7% do consumo global de energia elétrica de uma instalação industrial. [7] Em residências e edifícios de escritórios, o consumo de eletricidade derivado destes sistemas é da ordem dos 20 a 50%. Estima-se que para alguns grandes edifícios de escritórios cerca de 90% da energia consumida pelos sistemas de iluminação corresponda a consumo subaproveitado, dada a sobre-iluminação dos espaços. [8] Dada a relevância que a iluminação representa no consumo de energia elétrica por parte dos consumidores, especialmente em grandes edifícios de escritórios, torna-se pertinente uma análise cuidada e atenta das alternativas e estratégias disponíveis para minimizar os consumos de energia e respetivos custos associados a estes sistemas.

O objetivo principal na análise de rendimento e consumos destes sistemas prende-se com o alcance dum compromisso de redução dos consumos de energia elétrica e também dos custos de manutenção dos respetivos sistemas, sem que para tal se comprometa os níveis de iluminação necessários e recomendados para o desempenho das atividades em cada posto de trabalho.

No geral os sistemas de iluminação apresentam boas oportunidades de implementar soluções de eficiência energética. Estas são aplicadas localmente e normalmente não é necessário intervir maioritariamente nas instalações. Os investimentos associados aos sistemas de iluminação são recuperados geralmente num prazo de três meses a dois anos através das economias de energia que proporcionam. O período dependerá diretamente da quantidade de horas de uso e do tipo de tecnologia sugerida para a mudança. [7]

Para além de medidas mais específicas para a melhoria da eficiência da iluminação, e que serão apresentadas a seguir, existem algumas boas práticas que devem ser promovidas junto dos trabalhadores através de sensibilização. Exemplos de uma utilização correta dos sistemas passam por desligar as luzes sempre que não sejam necessárias ou quando se é a última pessoa a sair e ainda o evitar iluminar locais vazios. [7]

Um sistema de iluminação eficiente contempla não só a aplicação de propostas de melhoria, mas também e se possível, deve ser pensado nesse sentido na concepção da instalação. [9] Exemplos de estratégias a adotar na gênese da instalação são as seguintes:

- Dar prioridade à iluminação natural, mantendo limpas as áreas de entrada de luz, aproveitando ao máximo a luz natural e diminuindo assim a necessidade de iluminação artificial;
- Instalar claraboias para aproveitamento de luz natural;
- Sempre que possível pintar paredes e tetos de cores claras para favorecer a reflexão da luz e diminuir a necessidade de iluminar o espaço;
- Dimensionamento correto dos níveis de iluminação necessários para os diferentes postos de trabalho, reduzindo a iluminação naquelas zonas que não são realmente críticas e que não precisam de iluminação relevante, como sejam corredores e acessos.

Exemplos de medidas para melhoria dos sistemas existentes são os seguintes:

- Substituição dos sistemas de iluminação existentes por outros mais eficientes e de baixo investimento inicial. Utilizar sempre equipamentos de rendimento elevado (lâmpadas, luminárias e acessórios). Por exemplo, substituição de antigos modelos de lâmpadas fluorescentes tubulares T-8 por T-5, ou investimento em sistemas de iluminação com o selo de eficiência *Energy Star* como as lâmpadas fluorescentes compactas ou *LED's* que melhoram a qualidade da luz e reduzem as perdas por calor emitido;
- Substituição da sinalização de saída ou emergência por *LED*. A eficiência associada a este tipo de lâmpadas e os elevados ciclos de operação permitiriam poupanças de energia e de dinheiro por cada sinal, para além da manutenção ser praticamente inexistente;
- Deverá ser analisada a possibilidade de substituir lâmpadas de sódio de alta pressão por lâmpadas de iodetos metálicos em parques de estacionamento e aplicar sinalização a *LED* para efeitos de presença no exterior;
- Instalar luminárias com refletores espelhados que permitem elevar o rendimento total do sistema;
- Implementar a utilização de balastros eletrónicos em lâmpadas fluorescentes;
- Substituir lâmpadas de halogéneo por lâmpadas de sódio de alta pressão;
- Garantir que os interruptores são facilmente acessíveis e identificáveis e que indicam corretamente o circuito sobre o qual operam;
- Optar pelo tipo de iluminação mais adequada para cada local e para as tarefas a executar. Efetuar a separação da iluminação por zonas de utilização;

- Utilizar temporizadores programáveis;
- Reduzir a iluminação nas zonas de passagem;
- Utilizar sistemas de controlo e comando automático nas instalações de iluminação, permitindo que o nível de iluminação seja apenas o necessário para a atividade desenvolvida, reduzindo assim o consumo energético;
- Instalar sensores de luz e de movimento para controlar a iluminação em armazéns, salas de arrumo, salas de reuniões e outras áreas com pouco tráfego;
- Reduzir ao mínimo a iluminação exterior;
- Proceder a operações de limpeza regulares e manutenção das instalações, de acordo com um plano estabelecido;
- Definir corretamente os períodos de substituição das lâmpadas e optar sempre pela substituição em grupos;
- Verificar as normas de iluminação recomendadas pelo IES (*Illumination Engineering Society*) e compará-los com os valores de iluminância de cada espaço registados num luxímetro.

A aplicação destas medidas prevê os seguintes resultados:

- Melhoria da eficiência de iluminação;
- A substituição de lâmpadas fluorescentes de 38mm por 26mm ou 16mm dão origem a poupanças;
- A substituição de balastros convencionais por eletrónicos faz prever uma poupança do consumo energético pois o arranque é mais suave, a eliminação do ruído e incandescência são mais eficazes e o tempo de operação da luminária aumenta. [9]

2.7.6 Equipamento de Escritório

Face à sua utilização frequente, o mau uso dos equipamentos informáticos pode ser a causa de ineficiência energética, pelo que lhe deve ser dispensada alguma atenção. [9]

- Nos computadores de secretária devem ser ativados os modos de poupança de energia, que automaticamente desligam os monitores quando não estão em uso;
- Utilizar o modo de *stand-by* nas impressoras ou fotocopiadoras;
- Instalação de dispositivos inteligentes de poupança de consumo em máquinas de venda automática (*Vending Machine Misers*);
- Na aquisição de novos equipamentos de escritório deve ser tido em atenção se o equipamento possui uma certificação *Energy Star*. [9]

2.8 Exemplo da Universidade de Nova Iorque

Esta secção será dedicada à apresentação de um caso de sucesso no que concerne à aplicação de uma estratégia de gestão de energia numa das maiores universidades do mundo.

O desafio lançado, denominado de *Mayoral Challenge* e aceite pela universidade de Nova Iorque em 2007, prendia-se com a redução das emissões dos gases de efeito de estufa em 30% até 2017, sendo que as emissões do complexo universitário representavam cerca de 0,3% do total das emissões de toda a cidade. A principal fonte destas emissões era proveniente da energia usada em edifícios, pelo que o centro de toda a estratégia de sustentabilidade tinha como base precisamente a garantia de eficiência energética nos edifícios que compunham a universidade. [10]

Os resultados da implementação desta política de gestão energética revelaram-se bastante positivos, visto que a universidade alcançou o principal objetivo proposto em apenas 4 anos. Em adição à implementação de medidas de poupança energética, foi também contruída uma central de cogeração para aproveitamento dos gases quentes provenientes do processo de geração de energia elétrica, gases estes que eram depois aproveitados para aquecimento ambiente e de águas sanitárias de parte dos edifícios que integravam o complexo universitário. [10]

A aplicação deste programa possibilitou uma redução das emissões dos gases de efeito estufa da ordem dos 40% (MTCE¹) e da intensidade energética (kBTU/sf²) da universidade em cerca de 20% de 2006 a 2010. Na Figura 2.6 temos a referida evolução anual após a aplicação das medidas.

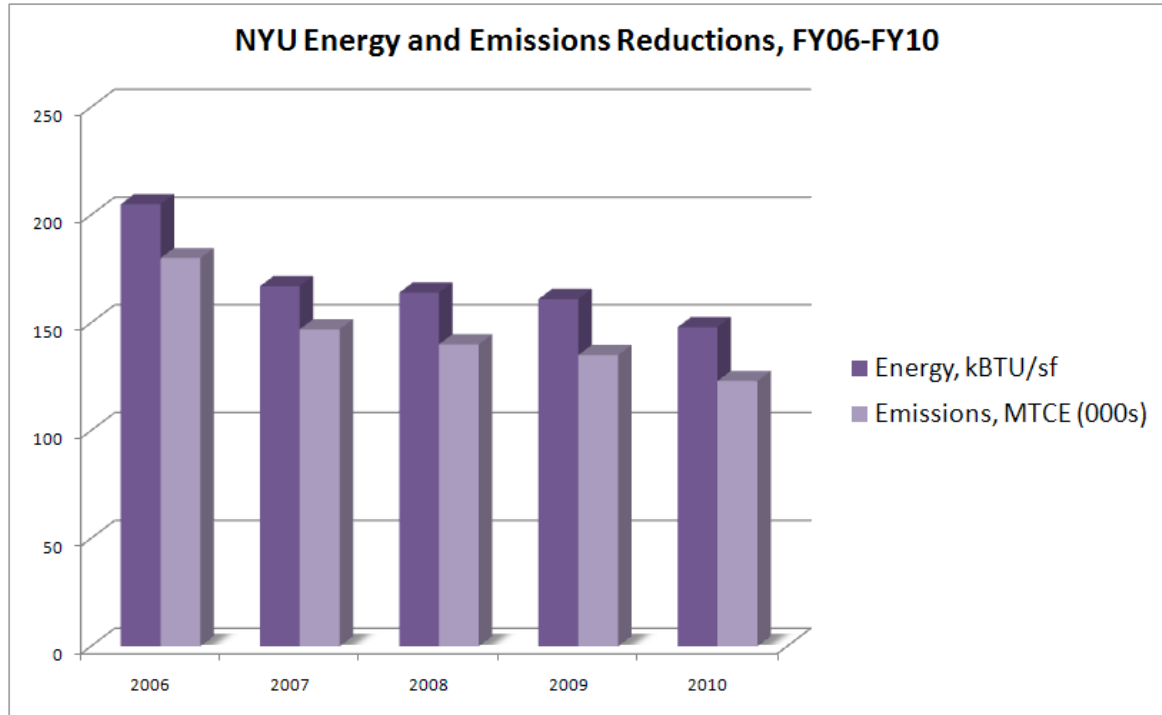


Figura 2.6 - Decréscimo da intensidade energética anual e das emissões de carbono da universidade de Nova Iorque [10]

Para além da aplicação das medidas de poupança de energia, os resultados alcançados só foram possíveis graças ao esforço coletivo dos estudantes, corpo técnico, funcionários e docentes, que com o seu empenho pessoal e atitude de comprometimento com o objetivo proposto fizeram um uso mais racional da energia. Algumas das medidas aplicadas foram portanto:

- Substituição de lâmpadas e balastros convencionais por equipamentos equiparados de alta eficiência em mais de 40 edifícios;
- Instalação de 4000 sensores de presença para controlo de ar condicionado e aquecimento em residências universitárias;
- Programação horária de equipamentos AVAC, iluminação e elevadores consoante os períodos de Inverno, Primavera ou Verão:

¹ MTCE - Metric Tons Carbon Equivalent

² BTU/sf - Thermochemical BTU per Year per Square Foot, rate of heat energy of one thermochemical BTU per year transferred through the area of one square foot. 1 kW/m²=0,088055 BTU/sf

- Elevadores redundantes desligados (implicando contudo maiores tempos de espera);
 - Iluminação artificial reduzida, sem que para tal se tenha comprometido a produtividade e a segurança. Promoção de iluminação localizada e direcionada apenas para o processo de trabalho (mesas de estudo) e de luz natural;
 - Aquecimento/refrigeração diminuídos em espaços pouco frequentados.
- Campanha “Luzes Desligadas” para desligar luminárias e outras cargas, especialmente antes dos períodos de fim-de-semana ou interrupção de aulas;
- Reavaliação de horários e correta operação dos serviços de manutenção dos edifícios;
- Revisão de operação de todos os equipamentos, por forma a avaliar o seu estado, e proceder a reparações ou correções caso estas se justifiquem;
- Instalação de 50000 lâmpadas fluorescentes compactas em átrios de edifícios;
- Instalação de pequenas unidades de aquecimento de água, para que as caldeiras se possam desligar no período de Verão:
 - Em muitos edifícios existiam caldeiras a gás ineficientes que funcionavam a tempo inteiro apenas para garantir água quente a alguns lavatórios. Desta forma, foram instaladas unidades de aquecimento de água mais eficientes, que permitiram que a caldeira ficasse desligada principalmente durante o período de Verão. A introdução desta medida proporcionou poupanças na faturação do gás.
- Programação dos computadores para o modo “Hibernar” quando não estão em uso;
- Instalação de dispositivos de poupança de energia em máquinas de venda automática:
 - As novas máquinas de venda automática que incorporam sistemas de frio para refrigeração interna e que possuem certificação *Energy Star*, são até 50% mais eficientes no uso da energia em relação aos modelos convencionais;
 - Máquinas com este selo de eficiência incorporam motores de ventilação, compressores e sistemas de iluminação mais eficientes, que garantem o mesmo nível de frio e visibilidade, com um menor consumo de energia;
 - Estes modelos possuem ainda uma opção que permite à máquina entrar num modo de poupança de energia, durante os períodos de inatividade.

2.9 Conclusão

Ao longo deste capítulo foram abordadas as principais áreas de ação e políticas a adotar para a implementação de um programa de desenvolvimento sustentável. É de referir ainda, que a implementação de programas de eficiência e gestão energética em edifícios de âmbito público constitui-se geralmente como um processo complexo, pelo que é recomendável a nomeação de um gestor de energia que pela sua experiência e ferramentas garanta a concretização das medidas de eficiência energética. A atividade do gestor deve ser acompanhada em todas as fases do processo pela entidade que promove a aplicação do programa, sendo que a definição da estratégia a implementar deve ser sempre ponderada e discutida por ambas as partes. Esta estratégia deve incluir sempre objetivos ou metas concretas e mensuráveis.

Capítulo 3

Sistemas de Iluminação

“A luz natural é primordial em qualquer aspecto da nossa vida quotidiana, mas na deficiência ou ausência dessa precisamos de investir na iluminação artificial dos ambientes para nos sentirmos confortáveis e seguros ao executar qualquer rotina. Uma luminosidade projetada de forma adequada contribui para o nosso bem-estar, além do aspecto funcional, pode gerar sensações de aconchego e destaque a pontos de interesse seja em que espaço for.” Citado de “A importância da iluminação artificial”, produzido pelo Diário da Manhã. [11]

“Existem vários tipos de iluminação, tais como: focada (localizada), difusa (geral), direta, indireta, cênica, dramática, dura, entre outras. É preciso fazer uma definição do tipo de espaço a que o projeto luminotécnico respeita por forma a escolher a iluminação mais indicada.” Citação retirada do mesmo artigo. [11]

Tendo em vista uma estratégia de maior racionalidade na utilização da iluminação, e uma maior economia no consumo de energia, para além dos sistemas eficientes de iluminação disponíveis hoje no mercado, realce ainda para a importância duma correta integração das duas fontes de iluminação, natural e artificial, para que a combinação das duas resulte num ambiente visual de superior qualidade, com custos tanto quanto possível mínimos. [12]

3.1 Diretiva Europeia para a Eficiência Energética em Instalações

A diretiva europeia EuP 2009/125/CE visa a criação de um quadro para definir os requisitos de conceção ecológica dos produtos relacionados com o consumo de energia. O principal objetivo desta diretiva é proteger o ambiente e, simultaneamente, reduzir o impacto ambiental dos produtos que consomem energia. [20]

A diretiva define objetivos gerais e abrangentes. Os requisitos concretos, definidos para cada produto, são estabelecidos posteriormente através da implementação de medidas. Assim, os parâmetros de conceção ecológica dependem das diferentes fases do ciclo de vida do produto: [20]

- Seleção e utilização da matéria-prima;
- Fabrico;
- Embalagem, transporte e distribuição;
- Instalação e manutenção;
- Utilização;
- Fim de vida.

Para cada fase, são avaliadas as seguintes características do produto:

- Consumo previsto de materiais, de energia e de outros recursos;
- Emissões previstas para o ar, a água ou o solo;
- Poluição prevista (ruído, vibração, radiação, campos eletromagnéticos);
- Geração prevista de resíduos;
- Possibilidade de reutilização, reciclagem ou valorização de materiais ou valorização energética tendo em conta a diretiva relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos (2002/96/EC).

Após a análise destes aspetos para cada produto consumidor de energia, são estabelecidas medidas, sendo que algumas delas passam pela decisão de deixar de fabricar e comercializar determinado produto.

Desde 2009, vários produtos deixaram de ser fabricados e comercializados dentro da EU, sendo que futuramente é expectável que os requisitos sobre o consumo de energia de lâmpadas e luminárias se tornem progressivamente mais restritos.

No Anexo A encontram-se tabelados os planos de *phase-out* previstos para a iluminação doméstica (Tabela A1) e para a iluminação pública e industrial (Tabela A2) até 2016. [22]

Em virtude da diretiva 98/11/CE¹, as lâmpadas destinadas a uso doméstico devem ser munidas de uma etiqueta “energia” (*energy label*) (Figura 3.1). Esta etiqueta classifica as lâmpadas de uso doméstico em sete categorias de eficácia energética. Esta classificação vai de A, para “muito eficaz”, a G para “pouco eficaz”.

As lâmpadas fluorescentes tubulares e as lâmpadas fluorescentes compactas pertencem normalmente às categorias A e B, enquanto as lâmpadas incandescentes pertencem normalmente às categorias E e F.

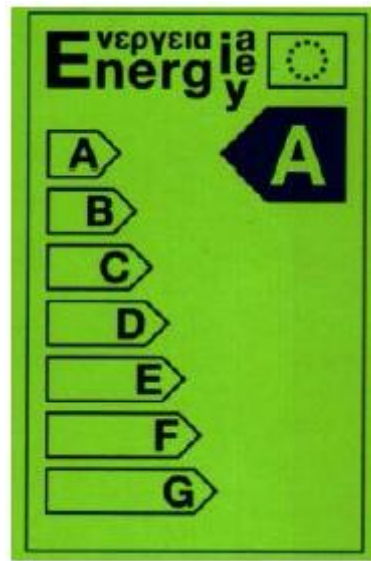


Figura 3.1 - Etiqueta de classe de eficiência energética de uma lâmpada fluorescente da fabricante Osram [22]

3.2 Características Gerais das Lâmpadas

Seguidamente apresentam-se as principais características das lâmpadas, por forma a termos um termo de comparação em relação aos vários modelos de lâmpadas existentes no mercado. [13]

Rendimento Luminoso - É definido como sendo a razão entre o fluxo luminoso emitido em Lúmen pela potência consumida pela lâmpada em Watt. A unidade de medida é o Lúmen por Watt.

Vida útil - É definida como o tempo em horas, no qual cerca de 25% do fluxo luminoso das lâmpadas testadas foi reduzido.

Duração de Vida Média - Indica o número de horas, após os quais, 50% de um lote significativo de lâmpadas acesas deixa de emitir fluxo luminoso, valor indicado pelo fabricante.

Depreciação do fluxo luminoso - Ao longo da vida útil da lâmpada, é comum ocorrer uma diminuição do fluxo luminoso que sai da luminária, por motivo da própria depreciação normal do fluxo da lâmpada e devido ao acumular de poeira sobre as superfícies da lâmpada e do refletor.

Temperatura de cor - Expressa a aparência de cor da luz emitida pela fonte de luz. A sua unidade de medida é o kelvin (K). Quanto mais alta a temperatura de cor, mais clara é a

tonalidade de cor da luz. Quando falamos em luz quente ou fria, não estamos a referir-mo-nos ao calor físico da lâmpada, mas sim à tonalidade de cor que ela apresenta ao ambiente. Luz com tonalidade de cor mais suave torna-se mais aconchegante e relaxante, luz mais clara torna-se mais estimulante (Figuras 3.2 e 3.3).

Temperatura de cor (°K)	Classificação	Sigla	Tonalidade de cor emitida
< 3300 °K	Quente	W	branco quente
entre 3300 °K e 5300°K	Intermédia	I	branco neutro
> 5300 °K	Fria	C	branco frio

Figura 3.2 - Temperatura de cor [14]

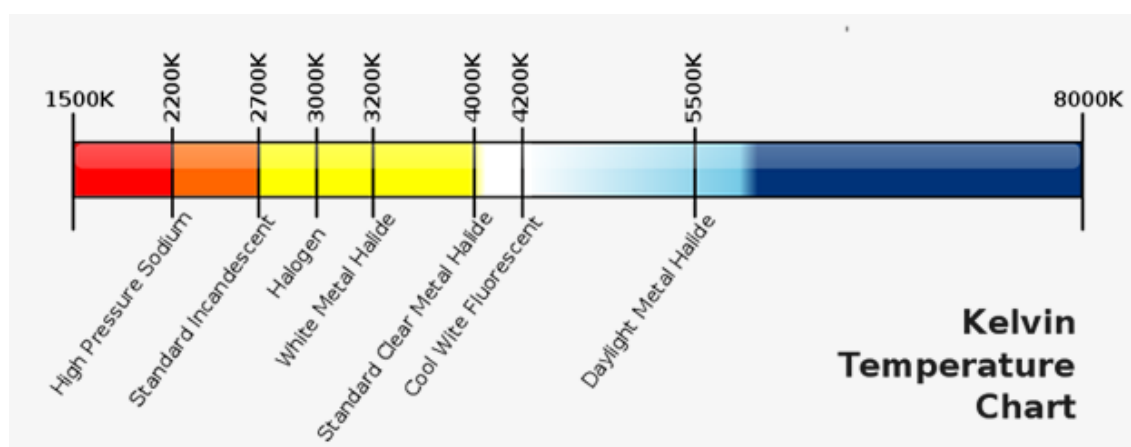


Figura 3.3 - Tonalidades produzidas pelas várias temperaturas [16]

Índice de Reprodução de Cor (IRC) - Este índice quantifica a fidelidade com que as cores são reproduzidas sob uma determinada fonte de luz. A capacidade da lâmpada reproduzir bem as cores (IRC) é independente da sua temperatura de cor (K) (Figura 3.4).

Grupo de restituição de cores		Índice de restituição de cores (IRC)
1	A	>90
	B	80...90
2	A	70...80
	B	60...70
3		40...60
4		20...40

Figura 3.4 - Grupos de restituição de cores para cada intervalo de IRC [14]

3.3 Classificação das Lâmpadas

Existem quatro grandes grupos de lâmpadas: lâmpadas de incandescência, lâmpadas de descarga: alta e baixa pressão, lâmpadas de indução e lâmpadas *LED*. Nesta secção do documento será feita uma análise mais detalhada das lâmpadas fluorescentes, compactas e tubulares, englobadas no grupo das lâmpadas de descarga, e das lâmpadas *LED*, tal como se apresenta na Figura 3.5. A escolha do subgrupo das lâmpadas fluorescentes prende-se com a larga implementação destas em iluminação interior de edifícios do grupo secundário e terciário, bem como na iluminação interior do caso de estudo em questão, como será devidamente abordado no Capítulo 4 deste documento. A escolha do grupo de lâmpadas *LED* deve-se ao facto de ser uma tecnologia de iluminação emergente, que apresenta elevados índices de eficiência energética.

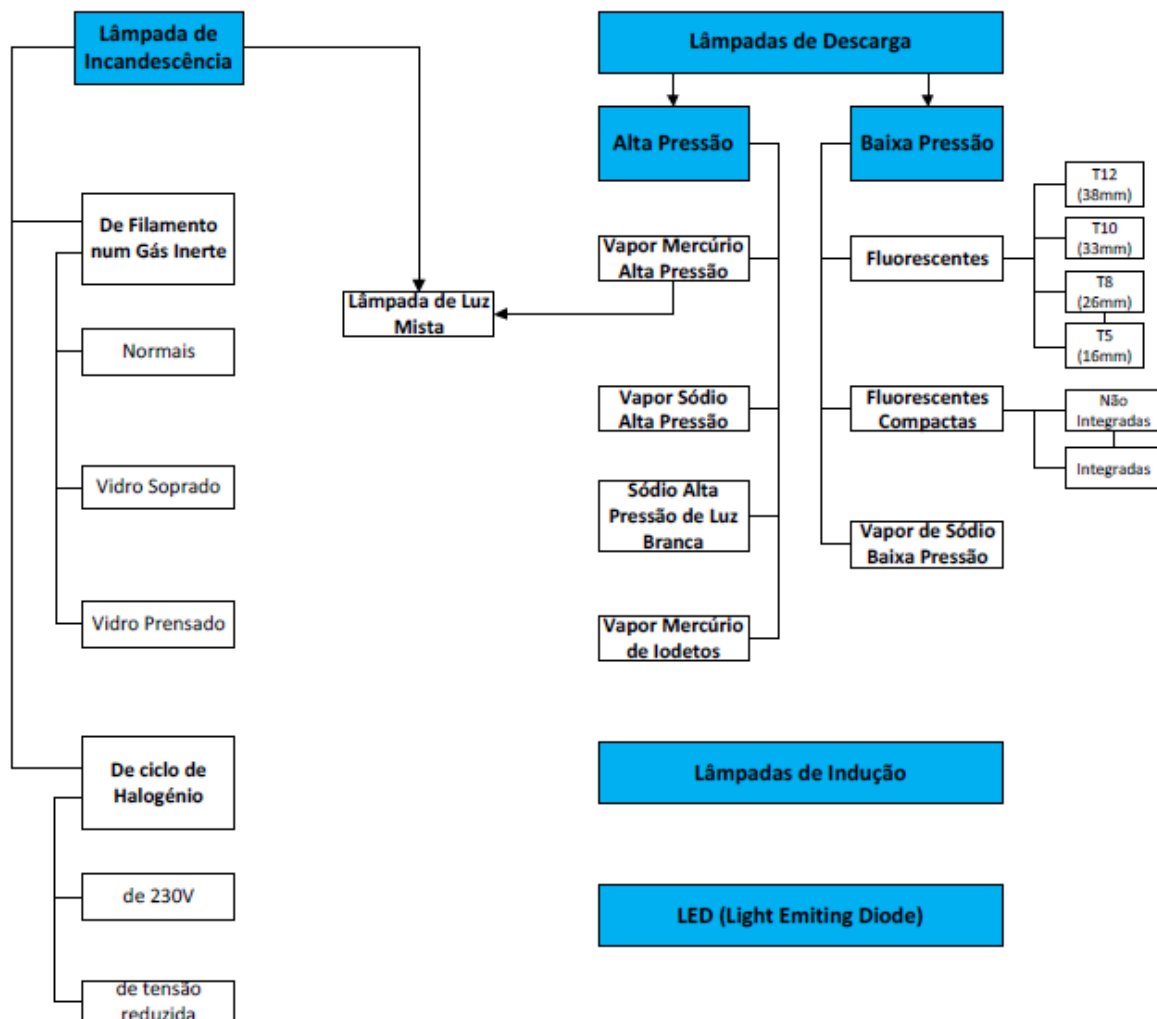


Figura 3.5 - Grupos de Lâmpadas [15]

3.4 Lâmpadas de Descarga

Nas lâmpadas de descarga o fluxo luminoso é gerado direta ou indiretamente pela passagem da corrente elétrica através de um gás, mistura de gases ou vapores. Há duas grandes famílias de lâmpadas de descarga, conforme a gama de pressão a que está submetido o gás: [15]

- Lâmpadas de descarga num gás ou vapor metálico a alta pressão:
 - Lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão;
 - Lâmpadas de luz mista;
 - Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão;
 - Lâmpadas de vapor de mercúrio de iodetos metálicos.
- Lâmpadas de descarga num gás ou vapor de baixa pressão:
 - Lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão;
 - Lâmpadas fluorescentes (lâmpada de vapor de mercúrio de baixa pressão);
 - Lâmpadas fluorescentes compacta.

3.5 Lâmpadas Fluorescentes Compactas

As lâmpadas fluorescentes compactas (CFLs) funcionam com base no fenómeno de excitação do vapor de mercúrio quando sujeito a uma passagem de corrente. [14] É considerada uma lâmpada de baixo consumo e de baixa emissão térmica. A descarga elétrica que ocorre no interior do tubo imite quase na totalidade radiação ultravioleta (invisível ao olho humano), gerada pelo vapor de mercúrio, que por sua vez, será convertida em luz através do pó fluorescente que reveste a superfície interna do tubo. Este tipo de lâmpadas poupa energia emitindo apenas luz em alguns picos do comprimento de onda.

Em relação às lâmpadas incandescentes, o processo de fabrico das lâmpadas fluorescentes é mais difícil e trabalhoso, aspeto este refletido no preço final de venda ao consumidor que é mais elevado dos que o de uma lâmpada incandescente. Contudo, temos vindo a assistir a uma redução dramática dos preços deste tipo de lâmpadas desde a sua introdução no mercado, pelo que se posicionam como uma das lâmpadas mais competitivas na relação preço/eficiência.

Um dos principais problemas deste tipo de lâmpadas prende-se com o efeito *Flicker*, que afeta a consistência luminosa e por conseguinte o fluxo luminoso emitido, causando desconforto visual a pessoas mais sensíveis. Existem porém modelos de lâmpadas fluorescentes de alta-frequência que corrigem este aspeto com as desvantagens de se apresentarem mais caras, e de serem modelos pouco direcionados para uso doméstico (residencial). [16]

Seguidamente apresentam-se as características principais da lâmpada fluorescente compacta: [14]

- **Rendimento:** 40 a 60 Lúmen/Watt
- **Índice de Restituição Cromática (IRC):** 85 a 95;
- **Temperatura de Cor:** 2700 a 5400 K;
- **Duração de Vida Média:** 7500 a 10 000 horas (a duração de vida varia com a quantidade de ciclos ON/OFF, ou seja a frequência de acendimentos);

Outras características:

- Existem com casquilho E27 ou E14 para substituição direta das lâmpadas incandescentes;
- Balastro integrado na própria lâmpada (modelo integrado). No grupo das lâmpadas compactas não integradas existe um modelo de lâmpada de 4 pinos que possibilita a variação do fluxo luminoso, utilizado para tal balastros eletrónicos “*dimable*”.

Nas Figuras 3.6 e 3.7 temos exemplos de lâmpadas fluorescentes compactas com diferentes formatos.



Figura 3.6 - Lâmpada fluorescente compacta comum [16]



Figura 3.7 - Lâmpada fluorescente compacta do tipo espiral [16]

3.6 Lâmpadas Fluorescentes Tubulares

O princípio de funcionamento das lâmpadas fluorescentes tubulares é o mesmo do modelo compacto. O principal aspeto diferenciador prende-se com o facto do tubo de descarga ser alongado, com um elétrodo em cada extremidade.

De seguida apresentam-se as principais características da lâmpada fluorescente tubular: [14]

- **Rendimento:** até 100 Lúmen/Watt;
- **Índice de Restituição Cromática (IRC):** 85 a 95;
- **Temperatura de Cor:** 2700 a 5000 K;

- **Duração de Vida Média:** 7500 a 10 000 horas (a duração de vida varia com a quantidade de ciclos ON/OFF, ou seja a frequência de acendimentos);

Outras características:

- Quando aplicadas em balastros eletrônicos a duração média de vida aumenta até 50%;
- Tempo de arranque: instantâneo com balastro eletrônico; não instantâneo, ocorrência de cintilação com balastro magnético;
- Necessita de aparelhagem auxiliar: tal como referido no ponto anterior é necessário a aplicação da lâmpada em balastros.
- Possuem uma larga gama de temperatura de cor.

Na Figura 3.8 apresentam-se os três modelos das lâmpadas fluorescentes tubulares, T5, T8 e T12.



Figura 3.8 - Lâmpadas fluorescentes tubulares. De cima para baixo respetivamente: T5, T8 e T12 [18]

Ao longo dos anos, a grande evolução deste tipo de lâmpadas verificou-se sobretudo ao nível do formato físico e da qualidade de luz produzida. As primeiras lâmpadas fluorescentes eram designadas por T10 ou T12, e apresentavam um tubo de descarga de 38mm (Figura 3.9), sendo que era revestidas internamente por um pó fluorescente comum.

Da evolução deste modelo surgiu a lâmpada T8, que se caracteriza por ter um diâmetro de 26mm. O revestimento interno é por um composto tri-fosfórico, e contém apenas 3mg de mercúrio. Em relação ao modelo T12, o modelo T8 é cerca de 40% mais eficiente [17].

As lâmpadas fluorescentes de última geração são designadas por T5 e caracterizam-se por possuírem um diâmetro de 16mm (Figura 3.9). A melhoria de rendimento deste modelo em

relação aos anteriores prende-se com a aplicação de um composto melhorado tri-fosfórico para revestimento interno, garantindo uma maior eficiência e melhor restituição de cores. Outra das diferenças prende-se com a temperatura de funcionamento destas em relação ao modelo T8. As lâmpadas T8 proporcionam o seu fluxo nominal para temperaturas ambientes a rondar os 25°C, enquanto as T5 o fazem para temperaturas de 35°C. As lâmpadas T5 apenas funcionam com balastos eletrónicos. [14] Comparativamente ao primeiro modelo, T12, a lâmpada T5 é 51% mais eficiente. [17]

Lâmpadas de nova geração tecnológica permitem um maior rendimento da luminária

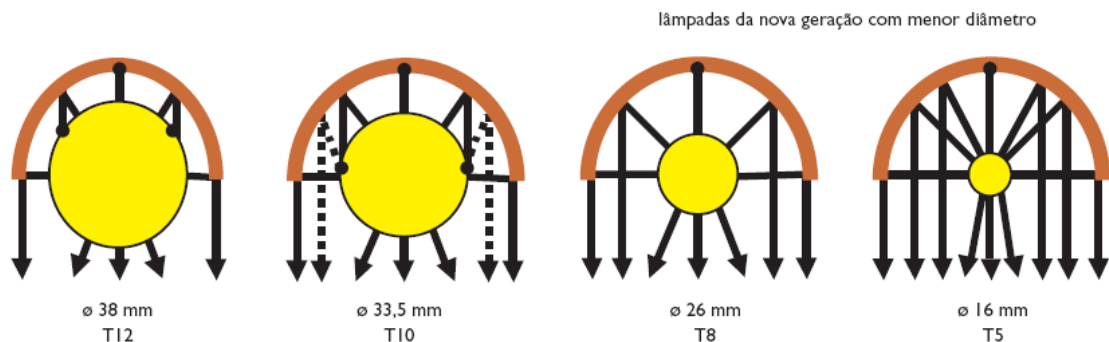


Figura 3.9 - Comparação dos diâmetros dos vários modelos de lâmpadas fluorescentes tubulares [13]

Olhando para os preços dos modelos com maior representatividade no mercado, uma lâmpada T8 standard de 120cm, custa entre 1,50€ e 2,25€, enquanto uma lâmpada T5 standard de 120cm custa entre 5,00€ e 10,00€. Significa isto que a lâmpada T8 é entre duas a quatro vezes mais barata do que a T5. [17]

Apesar dos ganhos de rendimento que a lâmpada T5 apresenta em relação à T8, os custos de fabrico são ainda elevados e a performance destas não é comparável na mesma proporção ao ganho de rendimento que estas apresentam. Para algumas aplicações, o investimento em substituição de lâmpadas T8 por T5 com um horizonte de retorno de curto-médio prazo assume-se como uma aposta pouco atrativa. [17] Este facto poderá mudar já num futuro próximo dadas as novas técnicas de produção de lâmpadas T5 que farão com que os custos de produção sofram reduções, e aproximem o custo final de venda ao consumidor para valores mais competitivos, em relação ao modelo T8. É expectável que este processo seja também acelerado pelo fenómeno do aumento dos preços de energia elétrica, o que fará com que a procura por estas lâmpadas atinja outra relevância no mercado.

Na Tabela 3.1 apresenta-se uma análise comparativa das características gerais entre as tecnologias T8 e T5, de acordo com uma média dos dados disponibilizados por vários fabricantes.

Tabela 3.1 - Comparação entre T8 e T5 [23]

Comprimento	60 cm			90 cm			120 cm			150 cm			
Tipo	T8	T5	T5	T8	T5	T5	T8	T5	T5	T8	T5	T5	T5
Watt	18 W	14 W	24 W	30 W	21 W	39 W	36 W	28 W	54 W	58 W	35 W	49 W	80 W
Rad. Luminosa (lm)	1400	1300	2 000	2 600	2 000	3 500	3 200	2 900	5 000	5 000	3 650	4 900	7 000
Rad. Luminosa (lm) depois de 3000 horas	1150	1250	1 920	2 150	1 920	3 360	2 650	2 780	4 800	4 150	3 500	4 700	6 700
c/ Balastro conv.	8 000h			8 000h			8 000h			8 000h			
c/ Balastro elétron.	1 200h	20 000h	20 000h	12 000h	20 000h	20 000h	12 000h	20 000h	20 000h	12 000h	20 000h	20 000h	20 000h
Reprod. Cromática	<65	85	85	<65	85	85	<65	85	85	<65	85	85	85
Consumo Real:													
T8 c/balastro conv.	27 - 31W			38 - 42W			43 - 50W			70 - 80W			
Fator de potência (cos ϕ)	0,45			0,45			0,45			0,45			
T8 c/balastro elétron.	23W			35W			41W			64W			
Fator de potência (cos ϕ)	<0,95			<0,95			<0,95			<0,95			
T5 c/balastro elétron.	17W			24W			31W		58W	38W		53W	
Fator de potência (cos ϕ)	>0,96			>0,96			>0,96		>0,96	>0,96		<0,96	

A principal conclusão a retirar desta análise comparativa é o facto da tecnologia T5 ser superior no que concerne ao rendimento obtido por lâmpada e por conseguinte na poupança de energia que é possível obter quando comparada com a tecnologia T8. Contudo, esta superioridade evidenciada não é suficientemente revolucionária para que se possa afirmar com convicção que a tecnologia T8 é obsoleta face à T5.

Presentemente, é expectável que as tecnologias T8 e T5, face à eficiência que apresentam, se continuem a assumir como as escolhas mais atrativas para sistemas de iluminação interior.

3.7 Lâmpadas LED

Um *LED*, sigla em inglês para “*Lighting Emitted Diode*”, é um díodo semicondutor, cujo princípio de funcionamento se baseia na eletroluminescência, isto é, ao ser-lhe aplicado uma tensão este gera luz devido ao movimento dos eletrões dentro do material semicondutor.

O *LED* funciona com tensões muito baixas e a sua alimentação precisa de ser em corrente contínua, sendo por isso necessário o uso de um interface (transformador ou drive) que converta as características de alimentação da instalação para um padrão adequado ao funcionamento do *LED*. [15] Em relação à potência consumida por lâmpadas incandescentes, o *LED* consegue poupanças na ordem dos 80%. [19]

As principais características da lâmpada *LED* apresentam-se seguidamente: [15]

- Maior vida útil (até 50 000 horas) e consequentemente baixa manutenção;
- Baixo consumo e uma eficiência energética entre 50 e os 80 lm/W;
- Não emite luz ultravioleta, o que a torna desejável para aplicações de iluminação decorativa ou de design;
- Resistência a impactos e vibrações;
- Maior segurança, pois trabalham em baixa tensão;
- Emitem luz de uma determinada cor, sem recorrer ao uso de filtros;
- Pode ser desenhado de modo a focar a luz emitida;
- Quando são usados com regulação de fluxo modificam a tonalidade da cor da luz emitida;
- Não contêm mercúrio, por isso são menos danosos para o meio ambiente;
- Dimensão reduzida, favorecendo o design de luminárias.

Os principais obstáculos à afirmação e conquista do espaço de mercado dos sistemas de iluminação baseados em lâmpadas *LED* prendem-se com:

- Elevados custos de aquisição;
- Índice de restituição cromática pode não ser o mais adequado: Dificuldade para competir com as lâmpadas incandescentes ou fluorescentes no que respeita ao conforto da visão;

- Necessidade de dispositivos de dissipação de calor nos leds de alta potência;
- Entre modelos da mesma marca podem existir diferenças na luz emitida ou no tempo de vida;
- O facto da lâmpada *LED* emitir o seu fluxo luminoso de forma muito direccionada pode constituir-se como uma desvantagem. [19]

Na Figura 3.10 apresentam-se duas variantes construtivas das lâmpadas *LED*.



Figura 3.10 - Lâmpadas *LED* [16]

3.8 Comparação entre Tecnologias de Iluminação

Nas secções anteriores verificou-se que as lâmpadas energeticamente eficientes conseguem atingir o mesmo fluxo luminoso/intensidade luminosa das tradicionais incandescentes utilizando menos energia. Na Tabela 3.2 apresenta-se uma análise comparativa do custo operacional entre os diferentes tipos de lâmpadas.

Tabela 3.2 - Comparação dos custos operacionais para diferentes tipos de lâmpadas [24]

	Incandescentes	Fluorescentes	<i>LED's</i>
Vida útil (horas)	1 200	10 000	50 000
Watt / Lâmpada	60	13	9
Custo / Lâmpada (€)	1,00	10,00	39,00
KW durante 50 000 horas	3 000	750	450
Custo Eletricidade (0,17/kWh)	510,00	128,00	76,50
Lâmpadas para 50 000 horas	42	5	1
Custo das Lâmpadas	42,00	50,00	39,00
Custo Total para 50 000 horas	552,00	178,00	115,00

3.9 Tipos de Balastros

As lâmpadas de descarga necessitam de equipamento auxiliar de modo a limitarem a corrente de descarga a um valor específico, existindo a necessidade de utilizar balastros. Este equipamento também é responsável por parte do consumo do sistema energético de iluminação. As funções dos balastros fluorescentes são as seguintes:

- Pré-aquecer os elétrodos para provocar a emissão de eletrões;
- Produzir a tensão de arranque para iniciar a descarga;
- Limitar a corrente de funcionamento a um valor correto.

Do evoluir da tecnologia surgiram os primeiros balastros eletrónicos no início da década de 80, mas só após um período de maturação desta tecnologia é que se verificou um aumento da procura deste tipo de equipamentos no mercado.

Estes balastros permitem melhorar o rendimento das lâmpadas, convertendo a frequência standard de 50Hz em alta frequência (25kHz a 40kHz). O funcionamento das lâmpadas a estas frequências elevadas permite uma poupança energética entre 12% a 25%, para a mesma quantidade de luz. [25]

A utilização dos balastros eletrónicos em detrimento dos balastros convencionais tem as seguintes vantagens: [25]

- Aumento do rendimento luminoso: as lâmpadas podem produzir cerca de mais 10% de luz para a mesma potência absorvida; alternativamente a potência absorvida pode ser reduzida;
- Eliminação do *flicker*: uma lâmpada funcionando a 50Hz, ou seja, à frequência nominal da rede, extingue-se da luz duas vezes por ciclo na passagem da corrente por zero. Este efeito denomina-se por *flicker*. Produz também o efeito estroboscópico, do qual podem advir diversos efeitos negativos. Com o funcionamento da lâmpada a alta frequência este efeito é eliminado;
- Eliminação do ruído audível: como os balastros eletrónicos funcionam a altas frequências, os ruídos decorrentes do seu funcionamento não são perceptíveis ao ouvido humano;
- Aumento da duração de vida da lâmpada: o balastro eletrónico pré-aquece os elétrodos da lâmpada antes de aplicar um impulso de tensão, diminuindo o desgaste do material emissor de eletrões dos elétrodos;
- Possibilidade de controlo do fluxo luminoso: nos balastros eletrónicos reguláveis existe a possibilidade de regulação do fluxo luminoso, permitindo uma poupança

de energia nas situações em que a iluminação esteja ligada a um sistema de controlo automático;

- Diminuição do peso e tamanho: os componentes magnéticos num balastro eletrónico são compactos e leves, em vez dos enrolamentos e núcleo de aço laminado dos balastros magnéticos.

Os balastros, à semelhança das lâmpadas fluorescentes, podem ser divididos em classes energéticas:

- Classe A1: Balastros eletrónicos reguláveis;
- Classe A2: Balastros eletrónicos com baixas perdas (alto rendimento);
- Classe A3: Balastros eletrónicos standards;
- Classe B1: Balastros magnéticos com perdas muito reduzidas;
- Classe B2: Balastros magnéticos com perdas reduzidas;
- Classe C: Balastros magnéticos com perdas moderadas;
- Classe D: Balastros magnéticos com perdas muito altas.

Esta subdivisão em classes energéticas surgiu da aprovação da diretiva europeia 2000/55CE.

Desde Abril de 2010, que não é permitido o fabrico e comercialização na comunidade europeia de balastros de classes B2, C e D. Esta medida contempla a primeira fase do plano de *phase-out* previsto para os balastros de fluorescência, que se estende até 2017. O plano pode ser consultado na íntegra no Anexo B (Tabela B1). [26]

3.9.1 Comparação da Eficiência entre Balastros para Tensões Reduzidas

À tensão nominal da rede, um balastro magnético apresentando bom funcionamento, consome apenas mais 3 Watt do que um balastro eletrónico. Quanto mais baixa a tensão, mais eficiente o balastro magnético se torna, especialmente os mais modernos. Comparando os modelos mais antigos de balastros magnéticos com os balastros eletrónicos standards (Classe A3), o magnético chega a consumir menos potência quando alimentado a uma tensão de 190 Volt e produz apenas menos 4,7% de fluxo luminoso por watt. Balastros magnéticos mais eficientes como o B1, também consomem menos potência do que um balastro eletrónico quando alimentados a 210 Volt, e produzem apenas menos 2,7% de fluxo luminoso por Watt. [27]

3.9.2 Sistemas de Regulação para Balastros Eletrónicos

Os balastros eletrónicos de classe A1 são passíveis de ser regulados, sendo que o sinal de regulação pode ser conseguido por tecnologia analógica ou digital.

No sistema de regulação 1-10V, é aplicada uma tensão DC variável entre 1V e 10V, sendo o fluxo luminoso da lâmpada proporcional à tensão de regulação. Existem controladores específicos para este tipo de regulação, sendo os mais comuns os do tipo potenciómetro. O dispositivo a regular cria uma tensão de regulação contínua nos terminais de controlo, sendo ligado a esses terminais um potenciómetro. A variação do fluxo luminoso emitido pela lâmpada é então conseguido à custa da variação de resistência do potenciómetro: 10V (máximo brilho; linha de controlo aberta); 1V (brilho mínimo; linha de controlo curto-circuitada). [25]

Relativamente ao sistema de regulação digital, esta é conseguida por um sinal digital produzido pelo sistema de controlo. A tecnologia digital abre novas opções desde a transmissão isenta de erros até ao endereçamento individual de componentes. As instruções para a atuação do sistema de controlo são dadas pelo utilizador através de botões de pressão, sendo que é possível codificar funções de comando e regulação ou a programação de toda uma instalação.

Neste sistema é possível associar sistemas de controlo por infravermelhos, sensores de luz constante, detetores de presença ou utilização de sistemas de gestão integrada. Quando na utilização conjunta de balastros eletrónicos, sensores de luz e detetores de presença, podem ser atingidas reduções de 70% no consumo de energia (Figura 3.11). [25]

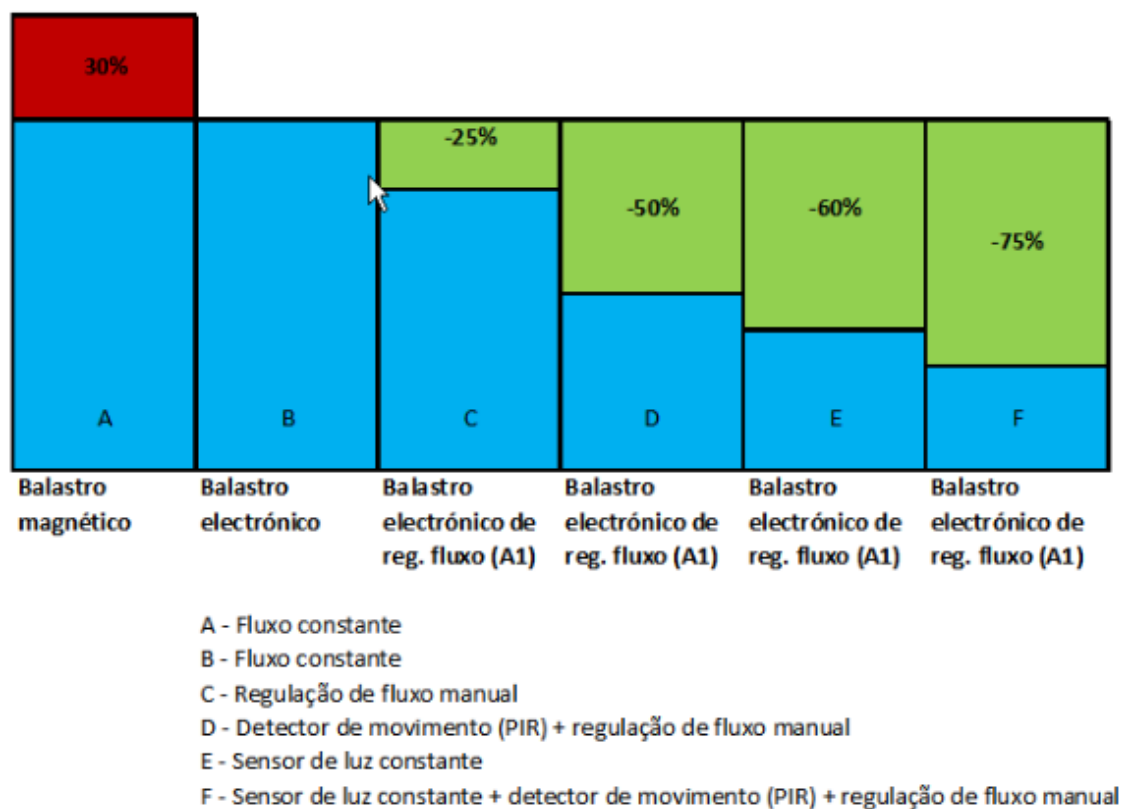


Figura 3.11 - Poupanças de energia com balastros electrónicos simples ou associados a outros dispositivos. [25]

Capítulo 4

Caso de Estudo: Auditoria Energética à FEUP

Este capítulo será dedicado à apresentação do estudo de eficiência energética desenvolvido nas infraestruturas da FEUP. A estruturação do estudo assentou em três etapas.

A primeira etapa diz respeito ao processo de identificação dos principais problemas energéticos afetos à FEUP e as áreas de potencial melhoria. Esta etapa englobou um reconhecimento da infraestrutura e uma familiarização com o contrato de abastecimento de energia elétrica com análise para a legislação em vigor no que concerne aos parâmetros de faturação para clientes de média tensão.

A segunda etapa consistiu num processo de levantamento dos equipamentos e processos de modo a se obter uma caracterização dos consumos por edifício. Dada a dimensão da infraestrutura, o processo de caracterização de consumos regeu-se com maior detalhe ao Edifício I, que acolhe os departamentos de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores e o departamento de Engenharia Informática. Este ponto será analisado e justificado com maior rigor na secção 4.1 deste capítulo.

A etapa de conclusão do processo de auditoria consistiu na estruturação de medidas de benefício energético, mas também de promoção de um desenvolvimento sustentável. Assim, com o objetivo de redução dos consumos de energia como ponto primordial, foram identificadas as áreas com maior potencial de implementação de medidas de melhoria para futuro, processo este assente num balanço custo-benefício.

Todas as medidas técnicas são justificadas com estudos de viabilidade.

4.1 Caracterização da Infraestrutura de Estudo

As atuais instalações da FEUP foram inauguradas em 2000 e localizam-se no polo 2 da Universidade do Porto - Campus da Asprela (Figura 4.1), com uma área que quase triplica a

área onde estava sediado o antigo edifício, na Rua dos Bragas. As condições desta infraestrutura são incomparavelmente superiores à sua antecessora.



Figura 4.1 - Novas instalações da FEUP na Asprela [28]

A FEUP dispõe de um conjunto de Órgãos de Gestão Central e está organizada em Departamentos e Serviços Centrais. No que respeita à divisão em termos das grandes áreas do conhecimento, delimitadas em função dos objetivos próprios e de metodologias técnicas de investigação científica, a FEUP está organizada em sete departamentos.

Os departamentos da FEUP possuem, por órgãos de gestão, um conselho do departamento e uma comissão executiva, sendo que mediante a dimensão e pluralidade das áreas científicas, alguns departamentos estão ainda divididos por secções. Os departamentos existentes na FEUP são os seguintes:

- Engenharia Civil - Edifício G/ Edifício Norte H;
- Engenharia Eletrotécnica e de Computadores - Edifício I/ Edifício Norte J;
- Engenharia Industrial e Gestão - Edifício L;
- Engenharia Mecânica - Edifício L/ Edifício Norte M;
- Engenharia Metalúrgica e de Materiais - Edifício F;
- Engenharia Informática - Edifício I;
- Engenharia Química - Edifício E;
- Engenharia Física - Edifício F.

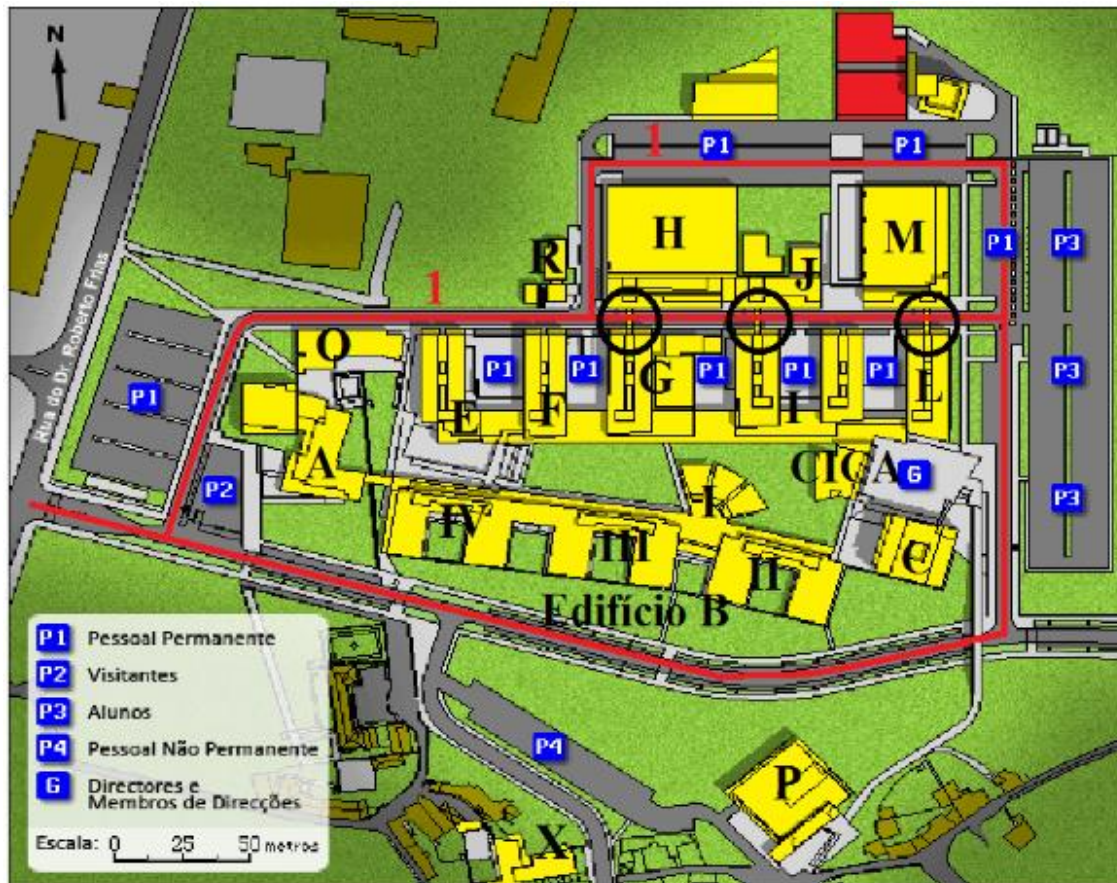


Figura 4.2 - Mapa do Campus da FEUP [28]

Na Figura 4.2 está um mapa das instalações da FEUP com a representação dos edifícios que acomodam os departamentos, acima sumarizados. Cada um destes edifícios foi marcado com respetivo código de identificação, sendo que apenas os blocos E, F, G, H, I, J, L e M serão objeto de análise neste estudo de eficiência.

Dadas as dimensões das instalações da FEUP, a estratégia de ação adotada para o estudo de eficiência energética passou por fazer uma caracterização energética aprofundada do Edifício I, sendo que a estrutura semelhante entre edifícios de departamentos no que respeita à instalação elétrica e o propósito dos espaços de trabalho permitiria uma extrapolação dos resultados alcançados neste edifício para os restantes. Note-se que, uma caracterização energética detalhada de cada departamento, em particular, exigiria uma extensão do tempo dedicado a esta tese de dissertação para além do admissível.

De realçar ainda, que este estudo energético no Edifício I só foi possível graças a um sentido de compromisso e empenho por parte do pessoal residente neste edifício, englobando docentes, auxiliares de ação contínua e corpo técnico, no préstimo de informações técnicas acerca dos equipamentos instalados e pelos quais são responsáveis no exercício das suas atividades quotidianas.

4.2 Edifício I

O edifício I, tal como referido na secção anterior, serve de sede aos departamentos de Engenharia Eletrotécnica e Computadores e de Engenharia Informática, e está subdividido em duas infraestruturas, uma designada de poente e a outra de nascente. Quer a infraestrutura a poente, quer a nascente, comportam um total de 5 pisos cada, respetivamente, pisos -1, 0, 1, 2 e 3.

Cada um dos dois departamentos é composto por uma secretaria, vários laboratórios especializados de acordo com a engenharia, gabinetes dos docentes e zonas comuns.

No que respeita ao sistema de climatização, o edifício possui um sistema de aquecimento alimentado a gás natural, atuando como sistema de aquecimento auxiliar, sempre que o aquecimento natural do sol se revela insuficiente. Estes sistemas de aquecimento encontram-se instalados nos vários corredores e espaços de trabalho, existindo, no mínimo, um aquecedor em cada um. De realçar ainda que este edifício encontra-se desprovido de qualquer sistema de arrefecimento, exceção feita a pequenos laboratórios e áreas administrativas, como por exemplo a secretaria do departamento de Engenharia Informática.

Relativamente à sua envolvente, o edifício I caracteriza-se por ter um revestimento a reboco sobre capoto, com grandes envidraçados duplos, e caixilharia de alumínio. As fachadas principais das infraestruturas poente e nascente estão direcionadas para sul, significando isto que durante a maior parte do dia estão expostos a uma radiação direta do sol, radiação esta que contribui para ganhos evidentes de luminosidade nos espaços interiores. De modo a proteger o interior do edifício de aquecimento excessivo proveniente desta incidência direta da radiação solar, os envidraçados que revestem esta fachada possuem uma película de proteção solar.

4.3 Caracterização Geral da Instalação Elétrica

A FEUP é um cliente consumidor de energia em MT - Média Tensão - no que ao contrato de abastecimento de energia elétrica se refere. Existem dentro do campus da FEUP três postos de transformação 15kV/400V, PT1, PT2 e PT3, cada um com dois transformadores de potência nominal 800kVA, totalizando assim um total de 6 transformadores com uma potência requisitada de 4800kVA. Estando estes PT's instalados na própria dependência da FEUP, a manutenção destes está à responsabilidade dos serviços técnicos de manutenção (STM), que

garantem a sua normal e correta operação, sob supervisão periódica do operador que presta o serviço de fornecimento de energia, a EDP Comercial.

Destes 6 transformadores instalados, apenas 5 estão ativos, respetivamente os dois transformadores do PT1, os dois transformadores do PT2 e apenas um transformador do PT3.

Cada PT alimenta respetivamente os seguintes blocos em baixa tensão (400-230V):

PT1:

- A, E, F, G, B IV, B III.

PT2:

- D (CICA), L, I, C, B II, B I.

PT3:

- M, J, H.

Cada quadro geral de baixa tensão (QGBT) de cada PT possui ainda uma saída independente reservada para o circuito de iluminação exterior do campus. Assim, cada PT alimenta o conjunto de luminárias destinadas à iluminação das zonas exteriores públicas mais próximas da sua localização, numa perspetiva de distribuição igualitária de cargas.

Acrescem a estes PT's, dois grupos geradores auxiliares, que atuam apenas em situação de falha generalizada do fornecimento de energia elétrica, ou seja, servem de *backup* ao abastecimento da rede elétrica de baixa tensão dentro da FEUP.

Existe um grupo gerador-motor geral, do tipo Diesel, que arranca quando se verifica uma falha generalizada de energia, e alimenta cargas essenciais como sejam cargas motoras de elevadores, computadores servidores, iluminação e sinalização de acessos e corredores, e de todos os outros equipamentos que requerem um funcionamento contínuo e ininterrupto. Este grupo gerador está ligado a um barramento de emergência, que por sua vez liga ao barramento de emergência QGBT de cada PT instalado na FEUP e fecha o circuito elétrico em caso de necessidade. A potência nominal deste grupo gerador é de 600kVA.

O outro grupo gerador-motor auxiliar, também do tipo Diesel, é dedicado ao *backup* de fornecimento de energia elétrica apenas e só ao bloco D. Este bloco é um ponto nevrálgico enquanto carga a alimentar por parte da rede elétrica do campus, dado que é neste bloco que estão acomodados os serviços informáticos que servem toda a comunidade académica. É com intuito de garantir a salvaguarda do seu normal funcionamento, seja em que situação for, que surgiu a necessidade de instalar um grupo gerador dedicado. A potência nominal deste grupo gerador-motor é de 200kVA.

O tempo de arranque e entrada em serviço destes grupos é de cerca de 5 segundos.

Para reforçar ainda a continuidade principalmente dos sistemas eletrónicos das redes informáticas mas também de outros equipamentos essenciais em caso de falha de energia, existem unidades *UPS - Uninterruptible Power Supply* - instaladas no bloco D. As UPS, além de fornecerem proteção contra as falhas da alimentação elétrica podem também filtrar as perturbações encontradas na alimentação da rede elétrica (quedas de tensão, “ruído” elétrico), salvaguardando o fornecimento de uma alimentação elétrica estável às cargas mais sensíveis.

4.4 Rede de Distribuição e Quadros Elétricos

O Edifício I dispõe de dois quadros elétricos para distribuição interna da energia elétrica, respetivamente um quadro geral da instalação normal (Q.G.I.N) e um quadro geral da instalação de emergência (Q.G.I.E). O armário que acomoda estes quadros localiza-se no piso 0 da estrutura nascente.

Destes quadros partem os circuitos que alimentam os quadros parciais, que se distribuem por pisos. Na Figura 4.3 temos uma representação geral da instalação elétrica que liga o PT2 aos quadros do edifício I.

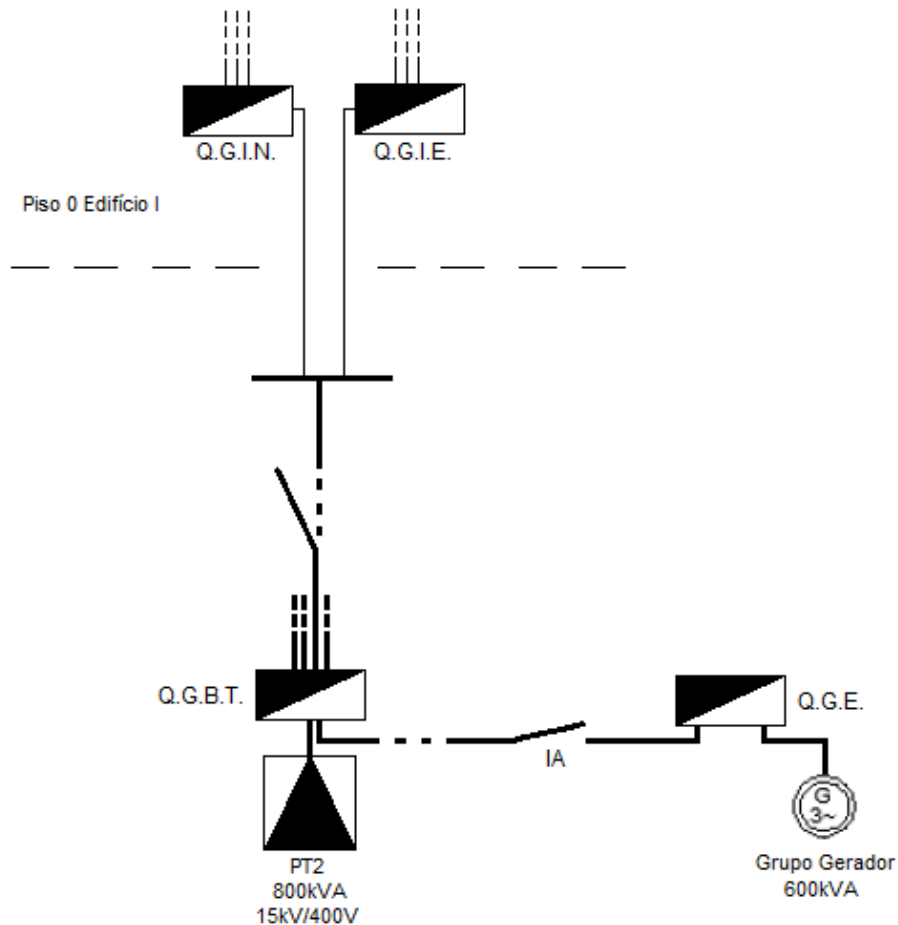


Figura 4.3 - Instalação elétrica que liga o PT2 aos quadros elétricos do edifício I

O quadro geral de baixa tensão (Q.G.B.T.) e o quadro geral de emergência (Q.G.E.) encontram-se ligado por meio de um sistema interbarras associado a inversor automático. Do Q.G.B.T. partem os vários ramais para alimentação dos edifícios.

A jusante da instalação, os quadros gerais alimentam os quadros parciais ao longo dos pisos, e estes fornecem energia aos diversos circuitos finais de utilização.

Realce ainda para a existência de filtros ativos em cada PT do campus, que atuam como neutralizadores de frequências indesejáveis do sinal elétrico e eliminam “ruído” causador de mau funcionamento de equipamentos mais sensíveis a variações de frequência, tais como aparelhos de medição ou computadores. Ao eliminar estas frequências parasitas, previne-se também o disparo intempestivo dos aparelhos de corte da instalação, o que contribui para atrasar o processo de envelhecimento destes. Uma das funções mais importantes destes equipamentos é atuarem como compensadores ativos do fator de potência da instalação de baixa tensão do campus, garantindo assim que se atinge o menor escalão de faturação de energia reativa, de acordo com os padrões de qualidade de serviço impostos para clientes MT.

Existem no total 8 filtros ativos instalados pelos três PT's, 7 deles de 60A e um outro de 40A, modelos Sinewave da Schneider Electric.

4.5 Contrato de Abastecimento de Energia

A FEUP está vinculada à fornecedora de energia EDP Comercial, que atua no mercado liberalizado de energia. Este vínculo está em vigor desde Outubro de 2012, data até à qual a instituição estava sob contrato do serviço regulado de fornecimento de energia elétrica.

Neste regime de mercado, as tarifas aplicadas sobre os vários escalões de consumo de eletricidade são negociados diretamente entre a instituição e a EDP Comercial, sendo que as tarifas aplicadas sobre o acesso às redes para clientes MT são as estipuladas pela ERSE (Entidade Reguladora para os Serviços Energéticos). Note-se ainda que, as tarifas de acesso às redes são estipuladas anualmente, e estão divididas em 4 períodos trimestrais. Esta tarifa engloba os custos associados ao uso global do sistema, o custo de uso da rede de transporte e o custo de uso da rede de distribuição. Estas parcelas de custos que o utilizador final de eletricidade paga, são as remunerações que os vários agentes que operam sobre a rede elétrica nacional recebem como compensação da sua atividade.

Os preços aplicados a cada tarifa para a faturação de eletricidade da FEUP, correspondentes ao ano de 2013, são os que se apresentam na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Tarifas de energia ativa aplicadas à FEUP

Tarifa Elétrica 2013	€/kWh
En. Ativa Vazio Normal (kWh)	0,0591
En. Ativa Super Vazio (kWh)	0,0585
En. Ativa Ponta (kWh)	0,0737
En. Ativa Cheias (kWh)	0,0708
Tarifa de Acesso às Redes - Período I e IV	
Redes Vazio Normal	€/kWh
Redes Vazio Normal	0,015
Redes Super Vazio	0,0144
Redes Ponta	0,0268
Redes Cheias	0,0236
Tarifa de Acesso às Redes - Período II e III	
Redes Vazio Normal	€/kWh
Redes Vazio Normal	0,0151
Redes Super Vazio	0,0148
Redes Ponta	0,0266
Redes Cheias	0,0237

Com menor expressão na fatura final, temos as parcelas associadas aos custos de consumo sobre a energia reativa fornecida e recebida, e as tarifas aplicadas sobre o consumo de energia em horas de ponta e sobre o escalão fixo de potência contratada (Tabela 4.2). Estas tarifas são também reguladas pela ERSE, e são independentes do período trimestral.

Tabela 4.2 - Tarifas de energia reativa e potência aplicadas à FEUP

Tarifa Elétrica 2013	€/kvarh
En. Reativa Fornecida	0,0234
En. Reativa Recebida	0,0176
Potência	€/kW.Mês
Horas de Ponta	8,752
Contratada	1,427

A transição da FEUP para o regime liberalizado de eletricidade revelou-se uma boa aposta, dado que as faturas energéticas resultantes deste regime em comparação com o regime regulado são mais baixas. Seguidamente apresenta-se uma comparação discriminada da fatura energética, para os primeiros 2 meses de 2013, entre o que foi pago no atual modelo de faturação, e quanto seria expetável que a FEUP pagasse de fatura de energia elétrica se ainda estivesse no regime regulado (Tabela 4.3 e Tabela 4.4).

Os dados das tarifas a aplicar no serviço regulado a clientes MT foram retirados do site da ERSE.

Os dados relativos ao consumo de energia elétrica registado na FEUP para cada período de estudo provém de fonte fidedigna.

Tabela 4.3 - Fatura de energia elétrica registada na FEUP, para os primeiros 2 meses de 2013, de acordo com as tarifas aplicadas no mercado liberalizado

Período de Leitura		18/01/13 a 17/02/13		18/02/13 a 17/03/13			
Detalhes	Consumos	Preço (€/uni.)	Valor (€)	Consumos	Preço (€/uni.)	Valor (€)	
En. Ativa Vazio Normal (kWh)	130815	0,0591	7731,17	110881	0,0591	6553,07	
En. Ativa Super Vazio (kWh)	71162	0,0585	4162,98	64939	0,0585	3798,93	
En. Ativa Ponta (kWh)	100043	0,0737	7373,17	102248	0,0737	7535,68	
En. Ativa Cheias (kWh)	253552	0,0708	17951,48	251931	0,0708	17836,71	
Redes Vazio Normal	130815	0,015	1962,23	110881	0,015	1663,22	
Redes Super Vazio	71162	0,0144	1024,73	64939	0,0144	935,12	
Redes Ponta	100043	0,0268	2681,15	102248	0,0268	2740,25	
Redes Cheias	253552	0,0236	5983,83	251931	0,0236	5945,57	
Redes Potência Contratada	1488	1,427	2163,72	1488	1,427	1954,57	
Redes Horas de Ponta	952,79	8,752	8498,93	1022,48	8,752	8237,32	
Energia Reat. Escalão 1 cons. FV*	42,43	0,0075	0,32	-	0,0075	-	
Imposto Especial Consumo Eletri.	555572	0,001	555,572	529999	0,001	529,999	
TOTAL S/IVA			60089,27	TOTAL S/IVA			57730,43
IVA 23%			13820,53	IVA 23%			13278,00
Contribuição Áudio Visual	1	2,25	2,25	1	2,25	2,25	
IVA 6%			0,14	IVA 6%			0,14
TOTAL			73912,19	TOTAL			71010,82

Tabela 4.4 - Simulação da fatura de energia elétrica da FEUP, para os primeiros 2 meses de 2013, de acordo com as tarifas transitórias aplicadas a clientes MT do mercado regulado

Período de Leitura		18/01 a 17/02, 2013			18/02 a 17/03, 2013				
		Quantidades (kWh/kvarh/kW)	(€/kWh) Período I	Valor (€)			Quantidades (kWh/kvarh/kW)	(€/kWh) Período I	Valor (€)
Energia Ativa	Vazio Normal	130815	0,0655	8568,38	Vazio Normal	110881	0,0655	7262,71	
	Super Vazio	71162	0,0596	4241,26	Super Vazio	64939	0,0596	3870,36	
	Ponta	100043	0,1313	13135,65	Ponta	102248	0,1313	13425,16	
	Cheia	253552	0,1003	25431,27	Cheia	251931	0,1003	25268,68	
			(€/kW)	Valor (€)			(€/kW)	Valor (€)	
Potência	Contratada	1488	9,368	13939,58	Contratada	1488	9,368	13939,58	
	Horas de Ponta	952,7905	1,357	1292,94	Horas de Ponta	1022,48	1,357	1387,51	
			(€/kvarh)	Valor (€)			(€/kvarh)	Valor (€)	
Energia Reativa *	Escalão 1 (k=0,33)	42,43	0,0077	0,33	Escalão 1 (k=0,33)	-	0,0077	-	
			(€/Dia)	Valor (€)			(€/Dia)	Valor (€)	
Termo Tarifário Fixo		31 dias	1,5517	48,10	31 dias		1,5517	48,10	
			(€/unidade)	Valor (€)			(€/unidade)	Valor (€)	
Imposto s/ Cons. Eletricidade		555572	0,001	555,57			529999	0,001	
			(€/unidade)	Valor (€)			(€/unidade)	Valor (€)	
Contribuição Àudio Visual		1	2,25	2,25	1			2,25	
TOTAL S/IVA (€)				67215,32	TOTAL S/IVA (€)				65734,35
IVA (23%)				15459,0064	IVA (23%)				15118,38361
IVA (6%)				0,0135	IVA (6%)				0,0135
TOTAL				82674,34	TOTAL				80852,75

* Apenas é faturada a energia reativa consumida nos períodos fora de vazio, ou seja os períodos de ponta e de cheias;

** Existem fatores multiplicativos a aplicar ao preço de referência de energia reativa, consoante o escalão de faturação de energia reativa indutiva. Dado que a $\text{tg } \emptyset$ da instalação foi maior ou igual a 0,3 e inferior a 0,4 no período de leitura, foi então aplicado o primeiro escalão, que corresponde a $k = 0,33$ para o primeiro período de faturação. No segundo período de faturação, a energia reativa consumida fora de vazio verificou-se para uma $\text{tg } \emptyset$ da instalação inferior a 0,3, logo não houve faturação desta parcela de energia.

Das Tabelas 4.3 e 4.4, retira-se que a FEUP sai beneficiada por se encontrar no mercado liberalizado de energia. Para os 2 períodos de estudo, a aplicação das tarifas que se verificam no mercado regulado para clientes de média tensão resultaria num acréscimo de cerca de 9 mil euros para cada caso, em relação à real fatura paga e que corresponde a um contrato com operador que atua no mercado liberalizado.

4.6 Resultados do Levantamento

Os resultados do levantamento aos equipamentos do edifício I são apresentados na Tabela 4.5. Nesta tabela foram discriminadas apenas as classes de equipamentos cujos consumos energéticos são mais relevantes para a composição do diagrama de cargas do edifício.

Existe uma vasta categoria de equipamentos que não foram contabilizados, e que se encontram instalados maioritariamente em laboratórios destinados a estudantes de Engenharia Eletrotécnica. De entre estes equipamentos enumeram-se a título de exemplo fontes de sinal digitais e analógicas, osciloscópios, ferros de soldadura e outros equipamentos auxiliares de pequena potência necessários para a prática das aulas laboratoriais.

Em laboratórios destinados a investigação para estudantes bolseiros de Engenharia Informática, os estudantes fazem uso de equipamento informático que também não foi contabilizado, como por exemplo discos de armazenamento externo com fonte de alimentação própria ou *workstations* gráficas.

Existem ainda categorias de equipamentos que são transversais a todos os espaços de trabalho no edifício, sejam eles laboratórios, gabinetes, ou salas de reuniões, onde estão incluídos focos de luz auxiliar para leitura, que equipam normalmente secretárias, impressoras de jato de tinta, e ainda os computadores portáteis quando ligados à tomada de alimentação.

A utilização diária dos equipamentos incluídos nas classes não contabilizadas é de difícil caracterização e pode apenas ser sujeita a uma estimativa. Existem equipamentos que são apenas usados em regime de trabalho autónomo por parte dos estudantes que fazem do edifício

l o local para desenvolvimento dos seus trabalhos acadêmicos. Em período de aulas, é também difícil prever com exatidão o número de equipamentos utilizados por estudante, principalmente nos laboratórios.

O impacto energético de cada classe de equipamento contabilizada pode ser estudado pela potência instalada que o somatório de cada classe toma para si. Note-se que esta grandeza não se refere ao consumo de potência instantâneo, mas antes a uma perspectiva de quanto o somatório das potências nominais de cada classe de equipamentos representa.

Tabela 4.5 - Contabilização dos equipamentos instalados no edifício I

Espaço	Nº Fogos	Nº Total de Lâmpadas	Potência Instalada em Lâmpadas (kW)	Nº Total de Computadores de Secretária	Potência Instalada em Computadores (kW)	Nº Total Fotocopiadoras	Potência Instalada em Fotocopiadoras (kW)	Nº Total de Máquinas de Venda Automática	Potência Instalada em Máquinas de Venda Autom. (kW)
Gabinetes de Docentes	89	532	29,854	84	29,4	2	2,4	-	-
Salas Administrativas/Salas de Reuniões	12	225	8,424	42	14,7	4	4,8	1	1,25
Laboratórios	47	582	33,756	504	176,4	4	4,8	-	-
Corredores/Átrios/Vãos de Escada	40	411	11,296	-	-	4	4,8	3	3,15
Oficinas/Salas Técnicas	9	146	6,888	13	4,55	1	1,2	-	-
Casas de Banho	13	110	1,97	-	-	-	-	-	-
TOTAIS		2006	92,188	643	225,05	15	18	4	4,4

Há a vários aspetos a detalhar nos resultados apresentados na Tabela 4.5.

As lâmpadas existentes no edifício apresentam potências nominais de 13, 18, 55 e 58W. Estas potências foram multiplicadas pelos respetivos números de lâmpadas instaladas, e quando somados estes resultados temos o total de potência instalada em lâmpadas no edifício.

Relativamente aos computadores de secretária, foi estipulado que cada fonte de alimentação de todos os computadores apresentava um valor de potência nominal de 350W, sendo este o valor de potência máximo que a fonte consegue fornecer para alimentação dos vários circuitos internos do computador. Na prática, e como se detalha no Capítulo 5, cada computador não requer um valor de potência tão alto, ao invés, o consumo de potência real varia de acordo com o tipo de aplicação que se corre e também com o número de periféricos em uso. O procedimento de cálculo para a potência instalada em computadores pode ser decomposto na multiplicação do número de computadores pela potência da fonte.

Para a potência das máquinas fotocopiadoras, foi estipulado o máximo valor de potência requerido pelas mesmas, e que se referem à potência consumida em modo de operação. Os dados elétricos das máquinas fotocopiadoras foram retirados da folha de especificações técnicas do modelo da máquina que equipa o edifício, uma Xerox WorkCentre Pro 245/255. O valor máximo de potência consumida é de 1230W, tendo sido este o valor de potência utilizado nos cálculos. A potência instalada em máquinas fotocopiadoras retira-se de forma análoga aos casos de estudo anteriores.

Os equipamentos de menor consumo energético da Tabela 4.5 correspondem às máquinas de venda automática. Estas máquinas podem ser decompostas em duas categorias, máquinas de venda de café, e máquinas de venda de comida rápida. Consultando novamente os dados elétricos de cada modelo de máquina de venda instalada, resulta num consumo de potência máximo de 650W para as máquinas de venda de comida e 1250 e 1800W para as máquinas de venda de café. Note-se que, consoante a capacidade da máquina para servir cafés, e também do sistema de aquecimento interno de água, a potência requerida pela máquina é maior ou menor. A potência instalada em máquinas de venda automática resulta da multiplicação da potência de cada tipo de máquina pela respetiva.

Existe ainda um conjunto de equipamentos que estão instalados maioritariamente em oficinas e salas técnicas, e cujas potências nominais são acima de 1kW. Em particular, temos três máquinas de potências 7,5, 1,1 e 2,2kW, cujos ciclos de trabalho diários não foram possíveis de caraterizar. Estas máquinas têm como utilidade o corte, moldagem e torneamento de chapa.

De entre as máquinas de potência superior a 1kW, podem-se ainda enumerar os motores dos elevadores. Existem 4 elevadores a servir a comunidade académica do edifício, dois instalados no poente, e os outros dois no nascente, cada um com um motor de tração de 5,2kW de potência nominal.

Posto este levantamento global, estão assim identificados os principais sistemas consumidores de energia do edifício.

Capítulo 5

Metodologia de Trabalho Desenvolvida

Este capítulo será dedicado à exposição da metodologia de trabalho adotada na abordagem ao caso de estudo. Tal como explicado no Capítulo 4, o processo de trabalho foi decomposto em diferentes etapas, que no geral se definem como etapas de reconhecimento e levantamento, etapas de identificação dos principais problemas a corrigir ou melhorar, e uma última etapa de estruturação dum plano que inclui medidas de melhoria de eficiência energética.

Para cada uma destas etapas será detalhado o histórico de ações levado a cabo desde o início do processo de auditoria, com destaque para os principais resultados e obstáculos encontrados.

5.1 Medição do Diagrama de Cargas no Edifício I

O primeiro passo tomado por forma a obter uma visão global dos consumos de energia no Edifício I, consistiu num processo de medição das grandezas elétricas no barramento de entrada do quadro geral normal de baixa tensão que alimenta o edifício. Este processo permitiria posteriormente tomar decisões sustentadas com base nos consumos efetivos verificados no edifício no desenrolar das suas normais atividades.

Esta medição teve efeito com recurso a um analisador de potência e energia, da marca Chauvin Arnoux, modelo QualiSTAR C.A. 8334b. Este tipo de ferramenta é especialmente projetada para inspeção e manutenção em edifícios industriais e administrativos, e permite obter as principais características de qualidade de uma rede elétrica.

As medições registaram-se num período temporal compreendido entre 15 de Novembro, uma sexta-feira, e 22 de Novembro, também uma sexta-feira, perfazendo um ciclo semanal completo. Os valores foram registados com um intervalo de diferença de 5 minutos,

ininterruptamente, durante os 8 dias, com início às 12.17h do dia 15 e término às 13.02 do dia 22.

As grandezas elétricas registadas foram as tensões compostas, as tensões simples, correntes, potência ativa, potência reativa, potência aparente, fator de potência, energia ativa e energia reativa. A grandeza que apresentava mais relevância para este estudo era efetivamente a potência ativa, sendo por isso à volta dos dados desta grandeza que foram retiradas as principais conclusões. De realçar ainda o fator de potência em cada uma das três fases, que se manteve sempre entre 0,90 e 0,99, chegando a haver curtos períodos em que o Edifício I se apresentava como uma carga global puramente ativa, significando isto que não há necessidade de correção deste fator.

Seguidamente apresentam-se as representações gráficas e respetiva análise da evolução da potência para o fim-de-semana.

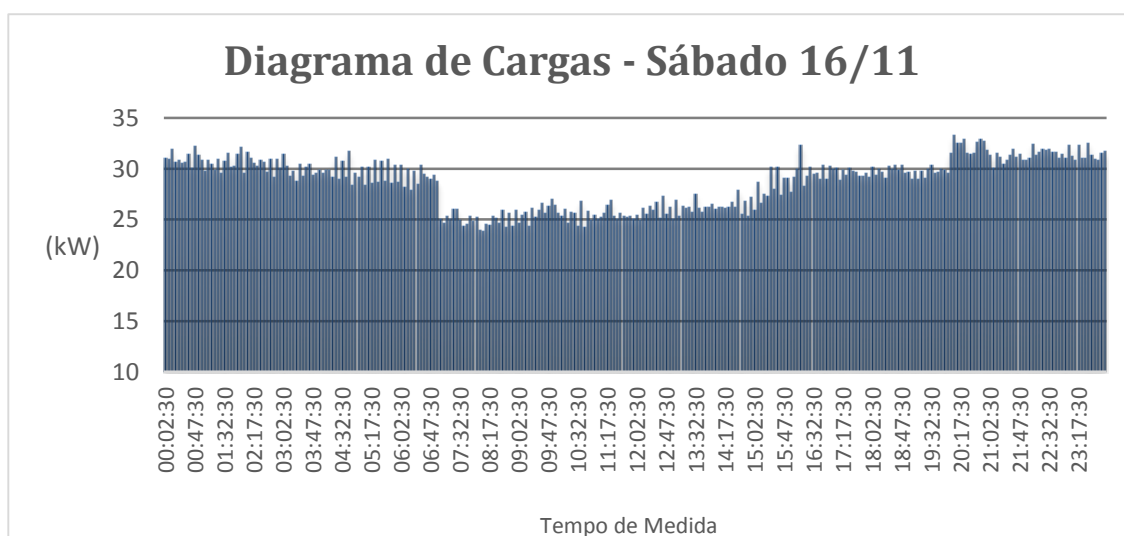


Figura 5.1 - Diagrama de Cargas para Sábado

As Figuras 5.1 e 5.2 permitem-nos traçar um padrão característico da evolução dos consumos de energia verificados no Edifício I, durante o período de fim-de-semana. Ambas as figuras apontam para um consumo de potência instantânea da ordem dos 30kW no período da 00.00h às 07.00h, verificando-se depois um decréscimo desta valor para cerca de 25kW de potência, que segue até por volta das 15.00h. A partir das 15.00h até às 20.00h, o consumo varia de acordo com evoluções crescentes e decrescentes, em torno de uma média próxima de 29kW para o dia de Sábado e de 27kW para o dia de Domingo. A partir das 20.00h volta-se a verificar um cenário comum às duas figuras, e que consiste num salto da potência consumida para cerca de 31kW, facto este verificado com maior clareza na Figura 5.3.

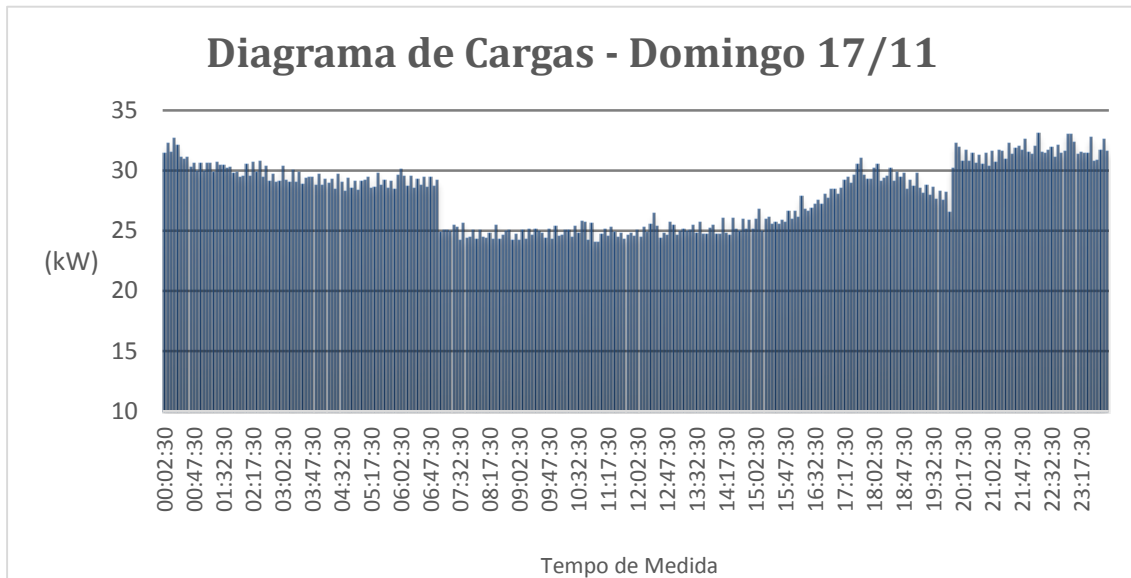


Figura 5.2 - Diagrama de Cargas para Domingo

A explicação deste fenómeno de decréscimo e acréscimo de potência consumida de forma sincronizada reside na programação horária de circuitos afetos ao Edifício I. De facto, existe na FEUP um centro de Gestão Técnica Centralizada responsável pela supervisão e manutenção de toda a rede elétrica interna do campus, sendo esta programação horária uma medida implementada pela Gestão Técnica com o objetivo de dotar a instalação elétrica de autonomia e gestão inteligente no que concerne ao accionamento de circuitos de iluminação, quer interior quer exterior, e regulação do sistema de aquecimento. Esta programação discrimina 3 períodos diários, o primeiro que contempla o intervalo das 00.00h às 07.00h, o segundo das 07.00h às 20.00h e por fim um das 20.00h às 24.00h.

Dada a semelhança entre os diagramas de carga obtidos para cada dia da semana, excluindo sábados e domingos, apenas serão apresentados de seguida os diagramas para os dias de segunda e terça-feira.

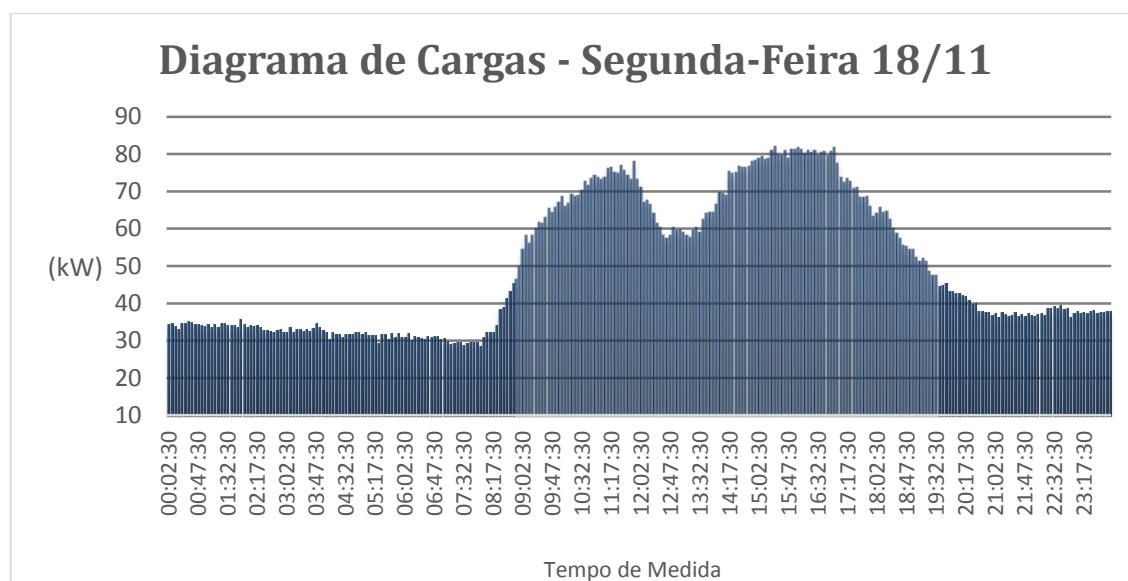


Figura 5.3 - Diagrama de Cargas para Segunda-Feira

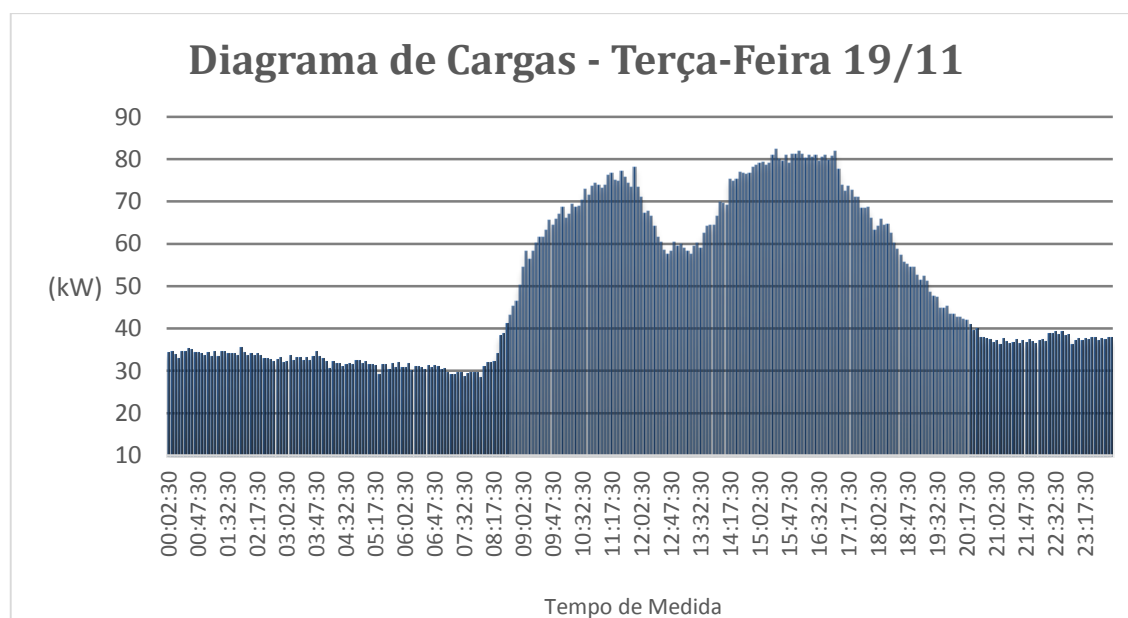


Figura 5.4 - Diagrama de Cargas para Terça-Feira

As Figuras 5.3 e 5.4 apresentam uma evolução de consumos de energia coincidente com um comum edifício administrativo ou comercial, que labora das 08.00h às 19.00h. Existem dois grandes picos de consumo, sendo que o valor máximo de potência consumida é registado no período da tarde, e ultrapassa os 80kW. Mais interessante é estudar a linha de carga durante o período das 00.00h às 07.00h e que ronda os 32kW, valor semelhante ao registado nos períodos homólogos de fim-de-semana.

No período das 00.00h às 07.00h o Edifício I está aberto a toda a comunidade académica através de acesso com cartão magnético, sendo que existem alguns docentes e estudantes que se deslocam às instalações para trabalho ou estudo. Realce também para a necessidade de

funcionamento ininterrupto de certos equipamentos, uns com maior relevância do que outros, que garantem serviços mínimos indispensáveis para segurança e conforto de todos os que frequentam as instalações, entre os quais se enumeram a iluminação de corredores ou acessos, iluminação de emergência e máquinas de venda automática. Existem também computadores servidores e outros equipamentos instalados em laboratórios de ensaio e teste indispensáveis para a produtividade dos processos ou atividades a serem desenvolvidas no Edifício I, e cujo shut-down, ainda que temporário, não é hipótese.

Dado, precisamente, o valor de potência significativo que todos estes sistemas consomem durante o período das 00.00h às 07.00h, procurou-se que a metodologia de trabalho fosse orientada à análise das fatias de consumo de energia anexas a cada conjunto ou classe de equipamentos, ligados durante este período. O propósito final seria elaborar uma caracterização energética do edifício.

5.2 Análise dos Equipamentos e Sistemas Consumidores de Energia

A desagregação dos consumos do edifício permite identificar quais os setores onde a intervenção é mais eficaz e propor soluções que melhor se adaptam a cada realidade. Este tipo de desagregação permite determinar quais os fins em que é utilizada a energia.

Note-se que, uma caracterização detalhada dos consumos de energia reais de cada equipamento ou sistema exigiria medições das grandezas elétricas durante o processo de levantamento.

Globalmente, os grandes grupos de consumo de energia do edifício, tal como já verificado no Capítulo 4, correspondem aos sistemas de iluminação e equipamentos informáticos. Existem ainda equipamentos AVAC mas cujo impacto energético não foi possível de quantificar, dada a sua utilização esporádica. O sistema de aquecimento, enquanto sistema energético importante na decomposição de consumos do edifício, não será contudo abordado neste processo de auditoria dado que funciona com abastecimento a gás.

5.2.1 Sistemas de Iluminação

As luminárias instaladas no Edifício I integram na esmagadora maioria lâmpadas fluorescentes tubulares T8, de potência 18 ou 58W. As lâmpadas de 58W estão instaladas principalmente nos átrios de entrada do edifício, gabinetes de pessoal docente, corpo técnico e órgãos de direção, salas de reuniões, espaços comuns, corredores e também nos laboratórios

onde são lecionadas as aulas práticas. A iluminação de átrios e corredores por lâmpadas T8 de 58W é garantida com suporte de armaduras do tipo régua, sem refletor nem difusor. Para os espaços de gabinetes e restantes onde estão instaladas lâmpadas de 58W, e por forma a garantir um maior conforto aos seus residentes, as luminárias possuem refletor e difusor. Nos laboratórios, as armaduras são do tipo suspensa.

As lâmpadas de 18W estão instaladas em armaduras que comportam 4 lâmpadas alinhadas, sendo que estas armaduras possuem difusor e refletor. Este grupo de luminárias ilumina a maior parte dos corredores principais do edifício, mas também algumas secretarias dos departamentos de Engenharia Eletrotécnica e Informática.

Todas as luminárias fluorescentes do edifício possuem balastros magnéticos de perdas reduzidas de classe B2.

Relativamente à iluminação exterior ao edifício I, esta é conseguida com recurso a focos luminosos que integram uma lâmpada fluorescente compacta, com potência nominal de 24W. Este circuito de iluminação exterior está ligado ao quadro geral normal da instalação do edifício, totalizando 504W de potência distribuída por 21 lâmpadas. Este circuito de iluminação é acionado automaticamente a partir das 20.00h, mantendo-se ligado até às 07.00h.

Dado que o edifício I é composto por vários pisos e os sistemas de iluminação são idênticos entre cada um, e entre espaços destinados ao mesmo fim, apenas serão detalhados os sistemas que garantem a iluminação de alguns dos diferentes espaços que compõe o Piso 0 (Tabela 5.1). A planta do Piso 0 é a que se apresenta na Figura 5.5.

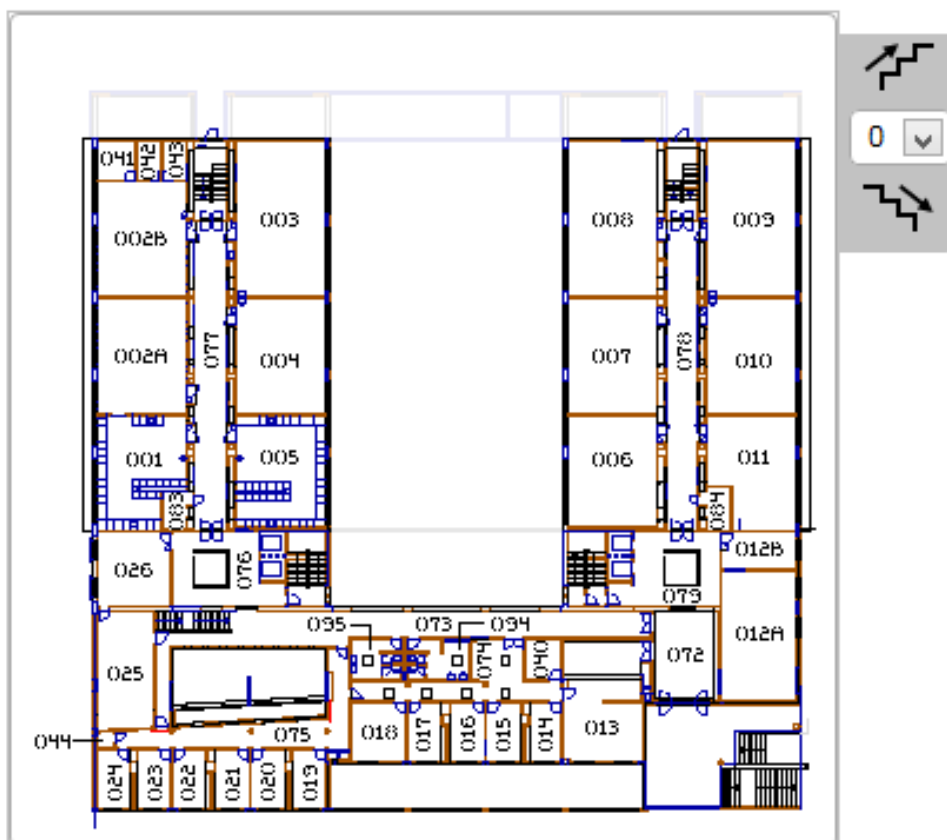


Figura 5.5 - Planta do Piso 0 do Edifício I, com a codificação das áreas de intervenção

Tabela 5.1 - Sistemas de Iluminação do Piso 0

Espaço	Utilização	Área (m²)	Luminárias	
			Nº Armaduras	
I014	Administrativa - Secretariado	13	Nº Lâmpadas p/Arm.	6
			Potência da Lâmpada (W)	1
			Tipo	36
			Comando	T8 Fluores. Tubular
				Comutador de Lustre
I013	Administrativa - Secretariado	58	Nº Armaduras	13
			Nº Lâmpadas p/Arm.	2
			Potência da Lâmpada (W)	36
			Tipo	T8 Fluores. Tubular
			Comando	Comutador de Lustre
I012A	Administrativa - Secretariado	62	Nº Armaduras	11
			Nº Lâmpadas p/Arm.	4
			Potência da Lâmpada (W)	18
			Tipo	T8 Fluores. Tubular
			Comando	Comutador de Lustre
I072	Corredor/Átrio	36	Nº Armaduras	10
			Nº Lâmpadas p/Arm.	1
			Potência da Lâmpada (W)	58
			Tipo	T8 Fluores. Tubular

			Comando	Interruptor modular
I079	Corredor/Átrio	43	Nº Armaduras	4
			Nº Lâmpadas p/Arm.	1
			Potência da Lâmpada (W)	58
			Tipo	T8 Fluores. Tubular
			Comando	Interruptor modular
I011	Laboratório	56	Nº Armaduras	10
			Nº Lâmpadas p/Arm.	1
			Potência da Lâmpada (W)	58
			Tipo	T8 Fluores. Tubular
			Comando	Comutador de Lustre
I006	Laboratório	60	Nº Armaduras	12
			Nº Lâmpadas p/Arm.	1
			Potência da Lâmpada (W)	58
			Tipo	T8 Fluores. Tubular
			Comando	Comutador de Lustre
I010	Laboratório	61	Nº Armaduras	12
			Nº Lâmpadas p/Arm.	1
			Potência da Lâmpada (W)	58
			Tipo	T8 Fluores. Tubular
			Comando	Comutador de Lustre
I007	Laboratório	61	Nº Armaduras	12
			Nº Lâmpadas p/Arm.	1
			Potência da Lâmpada (W)	58
			Tipo	T8 Fluores. Tubular
			Comando	Comutador de Lustre
I008	Laboratório	83	Nº Armaduras	16
			Nº Lâmpadas p/Arm.	1
			Potência da Lâmpada (W)	58
			Tipo	T8 Fluores. Tubular
			Comando	Comutador de Lustre
I009	Laboratório	83	Nº Armaduras	16
			Nº Lâmpadas p/Arm.	1
			Potência da Lâmpada (W)	58
			Tipo	T8 Fluores. Tubular
			Comando	Comutador de Lustre
I078	Corredor/Átrio	60	Nº Armaduras	6
			Nº Lâmpadas p/Arm.	4
			Potência da Lâmpada (W)	18
			Tipo	T8 Fluores. Tubular
			Comando	Interruptor modular
I073	Corredor/Átrio	87	Nº Armaduras	8
			Nº Lâmpadas p/Arm.	2
			Potência da Lâmpada (W)	13

				Tipo	T8 Fluores. Compacta
				Comando	Interruptor modular
I025	Sala de Reuniões	39		Nº Armaduras	12
				Nº Lâmpadas p/Arm.	1
				Potência da Lâmpada (W)	36
				Tipo	T8 Fluores. Tubular
				Comando	Comutador de Lustre
I074	Corredor/Átrio	38		Nº Armaduras	10
				Nº Lâmpadas p/Arm.	4
				Potência da Lâmpada (W)	18
				Tipo	T8 Fluores. Tubular
				Comando	Interruptor horário
I024	Gabinete	12		Nº Armaduras	3
				Nº Lâmpadas p/Arm.	1
				Potência da Lâmpada (W)	58
				Tipo	T8 Fluores. Tubular
				Comando	Comutador de Lustre
I019	Gabinete	13		Nº Armaduras	3
				Nº Lâmpadas p/Arm.	1
				Potência da Lâmpada (W)	58
				Tipo	T8 Fluores. Tubular
				Comando	Comutador de Lustre
I094	Sanitários - Homens	15		Nº Armaduras	5
				Nº Lâmpadas p/Arm.	2
				Potência da Lâmpada (W)	18
				Tipo	T8 Fluores. Compacta
				Comando	Interruptor modular
I095	Sanitários - Mulheres	12		Nº Armaduras	5
				Nº Lâmpadas p/Arm.	2
				Potência da Lâmpada (W)	18
				Tipo	T8 Fluores. Compacta
				Comando	Interruptor modular

5.2.2 Iluminação das Áreas Administrativas

A iluminação artificial dos espaços com fins administrativos é assegurada por armaduras com luminárias fluorescentes tubulares, de potência 36 ou 18W. Estas armaduras possuem refletor e difusor opalino (Figura 5.6). Nestes espaços, existem comutadores de lustre que permitem um controlo manual sobre 2 grupos de luminárias independentes. No caso do espaço I012A, existe ainda um detetor movimento que atua sobre 3 luminárias instaladas junto à porta de entrada.



Figura 5.6 - Exemplos de luminárias instaladas num espaço administrativo, lâmpadas de 36W

5.2.3 Iluminação dos Corredores e Átrios

A iluminação das áreas de circulação é assegurada por luminárias com lâmpadas fluorescentes tubulares de 18W (Figura 5.8), estas tipicamente instaladas em corredores “fechados”, onde não existe penetração de luz natural, e por luminárias com lâmpadas fluorescentes compactas de 13W, para os corredores expostos à penetração da luz natural por via das vidraças (Figura 5.7). Estes grupos de luminárias são controlados por interruptores modulares instalados nos quadros parciais dos vários pisos, isto porque correspondem a zonas de acesso público e o controlo dos sistemas de iluminação apenas pode estar acessível ao pessoal técnico que supervisiona a instalação elétrica.



Figura 5.7 - Exemplo de luminária utilizada em corredores com penetração de luz natural, lâmpadas de 13W



Figura 5.8 - Exemplo de luminária instalada em corredores fechados, lâmpadas de 18W

5.2.4 Iluminação dos Laboratórios

A iluminação dos laboratórios de ensino é assegurada por luminárias de lâmpadas fluorescentes tubulares de 58W (Figura 5.9), com armaduras suspensas do tipo régua, sem refletor nem difusor. As luminárias são comandadas manualmente por comutadores de lustre, que atuam sobre 2 grupos independentes.



Figura 5.9 - Exemplo de luminária instalada em laboratórios, lâmpada de 58W

5.2.5 Iluminação dos Gabinetes e Salas de Reuniões

A iluminação dos gabinetes de trabalho, onde residem habitualmente os docentes, é tipicamente assegurada por um conjunto de 3 luminárias, cada uma com uma lâmpada fluorescente de 58W (Figura 5.10), sendo que a armadura possui refletor e difusor opalino. Em cada gabinete existe ainda luminárias de parede, que proporcionam um foco de iluminação indireta “quente” (luz de tonalidade amarela) para efeitos de criação de um ambiente suave e relaxador. Cada uma destas luminárias de parede integra duas lâmpadas fluorescentes compactas de 55W cada. A instalação elétrica do sistema de iluminação dos gabinetes está

dividida em dois circuitos que acionam respetivamente as luminárias fluorescentes de 58W instaladas no teto ou as luminárias de parede, através de um comutador de lustre.



Figura 5.10 - Exemplo de luminária utilizada nos gabinetes, lâmpada de 58W

5.3 Medição dos Níveis de Iluminância

Com o objetivo de analisar a qualidade de iluminamento e distribuição da luz nas diferentes áreas de intervenção do edifício I, procedeu-se à medição dos níveis de iluminância com recurso a um luxímetro, da marca HT e modelo 307.

Para os corredores/átrios e casas de banho, as medições foram efetuadas mantendo o luxímetro num plano horizontal, sensivelmente à altura da cintura, o que perfaz perto de 1 metro de altura ao solo. Nos gabinetes, laboratórios e áreas administrativas os valores de luminância foram registados à altura de uma secretária de trabalho, aproximadamente 75 centímetros de altura ao solo.

Cada um dos espaços analisados foi classificado de acordo com a tarefa visual prevista, sendo que para cada classe existe uma gama de valores de iluminância recomendados (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 - Iluminâncias por classe de tarefas visuais [29]

Classe	Iluminância (lux)	Tipo de atividade
A Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples	20 - 30 - 50	Áreas públicas com arredores escuros
	50 - 75 - 100	Orientação simples para permanência curta
	100 - 150 - 200	Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos
	200 - 300 - 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios
B Iluminação geral para área de trabalho	500 - 750 - 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios
	1000 - 1500 - 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000 - 3000 - 5000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno
	5000 - 7500 - 10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica
	10000 - 15000 - 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia

Para cada tipo de atividade existe uma gama de valores recomendados que varia entre um mínimo e um máximo, sendo que a média dos valores de iluminância registados em cada espaço deve ser tanto mais próxima do termo médio da gama de valores recomendados quanto possível. Valores de iluminância acima ou abaixo da gama de valores recomendados têm como significado um excesso ou deficiência na quantidade de luz emitida pelas fontes luminosas.

A partir de cada conjunto de medições registado por espaço, calculou-se a média aritmética, e comparou-se com a gama de valores recomendados.

Na Tabela 5.3 apresentam-se os resultados das medições para as áreas de intervenção do piso 0. Os resultados das medições dos restantes pisos do edifício I seguem no Anexo C.

Tabela 5.3 - Valores de Iluminância no Piso 0

Espaço	Iluminância Média (lux)	Valores Registrados (lux)	Valores Recomendados (lux)	Categoria do Espaço	Classe de Tarefas Visuais
I072	46	45 46,5	50 - 75 - 100	Área de uso interrupto: Orientação Simples para Permanência Curta	A
I079	37	45 32 35	50 - 75 - 100	Área de uso interrupto: Orientação Simples para Permanência Curta	A
I078	136	75 236 97	75 - 100 - 150	Corredores / Escadas	A
Vão de Escadas das Traseiras	315	155 651 171 284	75 - 100 - 150	Corredores / Escadas	A
I013	201	212 189	300 - 500 - 750	Escritório: Escrita, dactilografia, tratamento de dados. Posto de trabalho com computador.	B
I012A	480	325 635	300 - 500 - 750	Escritório: Escrita, dactilografia, tratamento de dados. Posto de trabalho com computador.	B
I010	435	420 450	300 - 500 - 750	Laboratório: Bancada de trabalho com computador	B
I007	427	430 400 452	300 - 500 - 750	Laboratório: Bancada de trabalho com computador	B
Vão de Escadas Lateral	104	137 14	75 - 100 - 150	Corredores / Escadas	A

		139			
		126			
		26			
I073	272	41	75 - 100 - 150	Corredores / Escadas	A
		569			
		452			
		426			
I014	378	372	300 - 500 - 750	Escritório: Escrita, dactilografia, tratamento de dados. Posto de trabalho com computador.	B
		336			

Da Tabela 5.3 retira-se que a maior parte dos espaços analisados cumprem os índices de intensidade de iluminação recomendados. As considerações em relação aos espaços que não se enquadram nos valores recomendados, e a todas as classes de espaço em geral, serão feitas no Capítulo 6 na respetiva exposição de soluções.

Note-se que estas medições não tiveram como objetivo um estudo exaustivo dos níveis de iluminância, mas sim, uma estimativa dos valores de iluminância de vários locais em análise.

Capítulo 6

Propostas para Melhoria da Eficiência Energética

Este capítulo será dedicado à apresentação das soluções de melhoria da eficiência energética, decorrentes da análise do processo de auditoria realizado e exposto no capítulo anterior.

As principais soluções apresentadas dizem respeito a melhorias nos sistemas de iluminação que integram o edifício I, justificado no facto de grande parte destes sistemas possuir uma grande margem de implementação de medidas de redução de consumo ainda por explorar.

6.1 Consumos e Gastos com os Sistemas de Iluminação e Computadores

Nos diagramas de cargas apresentados na secção 5.1 tinha-se verificado que no período das 00.00h às 07.00h, a potência instantânea consumida era da ordem dos 30kW. Ora, cerca de 16kW destes 30kW correspondem a potência consumida pelos sistemas de iluminação do edifício I, o que representa um pouco mais de 50%. Este valor contabiliza as potências das luminárias que estão instaladas nos corredores, átrios e algumas salas de estudo que estão ininterruptamente ligadas, 24h por dia, mesmo em períodos de fim-de-semana.

Retirando a iluminação das salas de estudo, que têm um uso intermitente em períodos de vazio, e assumem-se como de difícil previsão, a iluminação dos corredores e átrios pode ser entendida como a fração de carga que ocupa a base do diagrama de cargas.

Posto isto, é possível estimar que pelo menos 40% da potência de ponta consumida em dias da semana em todo o edifício provém destes sistemas, sendo que a outra grande fatia estará

associada a equipamento informático que todos os residentes fazem uso no decurso das atividades quotidianas.

Em rigor, no período das 00.00h às 07.00h os corredores e átrios do edifício I possuem um total de 423 lâmpadas fluorescentes ligadas, às quais se somam ainda todas as luminárias das casas de banho, visto que durante este período também estes espaços estão permanentemente iluminados. Contabilizando tudo, temos uma potência consumida de 14,78kW. Uma vez que todas as luminárias fluorescentes possuem balastros magnéticos, foi estipulado que este equipamento auxiliar consome aproximadamente 10% da potência nominal de cada lâmpada instalada, resultando numa potência total consumida por estes equipamentos de 16,25kW.

De facto, este valor de 10% de consumo dos balastros resulta de uma estimativa geral, uma vez que o real valor de energia consumida por cada balastro apenas poderia ser conhecido em detalhe com um medidor de energia.

O outro conjunto de equipamentos que completa em grande parte o diagrama de cargas são precisamente os equipamentos informáticos, tal como já referido. Com vista à obtenção de informação mais detalhada, foi solicitado a todo o pessoal que possui gabinete, laboratório, ou é responsável por qualquer espaço no edifício I, que discriminasse quais os equipamentos de que fazia uso na sua atividade quotidiana, e em que período se encaixava esse ciclo de utilização dos equipamentos, respetivamente, 00-00h - 07.00h, 07.00h - 20.00h e 20.00h - 24.00h. O período de maior interesse aqui seria, tal como nos sistemas de iluminação, o das 00.00h às 07.00h, por forma a perceber que conjuntos de cargas ficavam ligadas e contribuíam para a composição do diagrama.

Deste préstimo de informações retirou-se que existem 5 pessoas que deixam os computadores de secretária ligados durante o período de interesse, enquanto a grande maioria dos residentes apenas faz uso dos equipamentos durante o período diurno.

Para efeitos de cálculo, considerou-se que cada computador de secretária em funcionamento consumia uma potência aparente de 247VA, valor representativo da potência requerida à fonte de alimentação de um computador quando este corre aplicações que fazem uso do processador CPU. No que concerne às fontes de alimentação dos computadores, estipulou-se que cada uma é dotada de correção do fator de potência, pelo que se assume um $\cos \phi = 0,9$. Multiplicando o fator de potência pela potência aparente de cada computador, temos a potência ativa consumida, que é aproximadamente igual a 222W. A soma dos consumos destes 5 computadores com o total da potência consumida por sistemas de iluminação, resulta num total de 18,90kW de potência passível de ser diminuída no edifício I.

Para um maior detalhe nos cálculos de energia para o edifício I, consulte-se o Anexo D.

Para esta estimativa dos consumos e gastos com equipamentos ligados no período das 00.00h às 07.00h, tomaram-se em consideração todos aqueles cujo funcionamento neste período pode ser classificado como desnecessário. Na prática, os sistemas de iluminação teriam de manter-se continuamente ligados neste período, dada a possibilidade de haver pessoas a circular no interior do edifício, pelo que esta classificação não se pode aplicar. O que ocorre é que existe uma clara sobre-iluminação de corredores e átrios interiores durante este período, da qual não é retirada qualquer mais-valia ou contribuição para a produtividade das atividades desenvolvidas. Note-se que a iluminação exterior não pode ser considerada uma vez que há a necessidade dos pátios e arredores serem iluminados por motivos de segurança mas também de conforto visual.

No que respeita a computadores e equipamentos informáticos, existem 3 computadores que funcionam ininterruptamente enquanto servidores, localizados nas salas I-108 e I-107 do piso -1, que não podem ser contabilizados para esta estimativa, ao contrário dos computadores que ficam ligados em gabinetes ou laboratórios. O funcionamento de computadores servidores é considerado como imprescindível para quaisquer períodos de estudo, pelo que o corte destas cargas não pode ser tomado como hipótese.

À margem desta estimativa ficam ainda as máquinas fotocopadoras e as máquinas de venda automática.

As máquinas fotocopadoras possuem modos de poupança de energia e modos sleep indicados para os períodos de menor afluência de pessoas no edifício. Recordando os dados da Tabela 4.5, existem 15 fotocopadoras instaladas no edifício, sendo que de acordo com a folha de especificações do modelo, a potência consumida no modo de poupança é de cerca de 125W e para o modo sleep são 9W. O consumo máximo de potência de uma máquina fotocopadora é atingido pontualmente, dependendo do ciclo de trabalho e do número de cópias impressas, pelo que o consumo energético real só seria obtido em detalhe com recurso a uma medição com ferramentas adequadas.

De entre as máquinas de venda automática, as máquinas de café também têm um consumo real difícil de detalhar. De acordo com as características do fabricante, a potência nominal do modelo das máquinas de cafés que se encontram no átrio dos elevadores do piso -1, ponte, são de 1800W, enquanto a potência da máquina de café que se encontra na sala I-105 do piso -1 tem uma potência de 1250W. O consumo real destas máquinas quando não estão a ser retirados cafés não é especificado, e note-se também que não possuem selo de certificação energética *Energy Star*. Relativamente à máquina de venda de comida rápida instalada também no átrio do piso -1 dos elevadores, a potência nominal especificada pelo fabricante é de 650W.

Esta será já uma potência próxima do valor real de consumo, dado que os principais sistemas que requerem energia são a refrigeração interna que está permanentemente a ventilar, e a iluminação dos produtos. Esta máquina não possui igualmente certificação *Energy Star*.

Estes grupos de equipamentos, embora contribuam para a composição do diagrama de cargas do edifício no período das 00.00h às 07.00h, não serão incluídos nas estimativas uma vez que apresentam um potencial de redução de consumos pouco significativo e a hipótese de os colocar fora de serviço neste período afigura-se como uma solução de baixo retorno.

Dado que a iluminação nos departamentos da FEUP está de igual forma ligada neste período, é possível extrapolar os resultados de poupanças obtidas por redução de iluminação a um cenário mais alargado. Seguindo esta linha de raciocínio, procedeu-se a um levantamento, ainda que menos exaustivo do que o efetuado ao edifício I, aos edifícios J, M, L, G, H, F, E. Foram novamente contabilizadas as luminárias que iluminam os corredores e átrios internos destes edifícios. À semelhança das luminárias do edifício I estipulou-se que a potência requerida por balastros magnéticos eram de 10% da potência nominal de cada lâmpada. Em relação ao número de computadores que ficam ligados neste período nos outros edifícios, não foi possível obter um número detalhado, dado o universo de observação. Desta forma, estipulou-se que ficariam ligados os mesmos 5 computadores por departamento, à semelhança do que acontece no edifício I. Para os edifícios Norte que servem de extensão aos departamentos, nomeadamente os edifícios J, M e H, uma vez que são de menores dimensões e neles residem menos pessoas, é expectável que também um menor número de computadores fique ligado durante este período, por isso para estes edifícios estipulou-se que ficam 3 computadores ligados.

Os resultados globais das potências consumidas por sistemas de iluminação interiores nestes edifícios somadas às potências dos computadores que ficam ligados são as seguintes:

- J - 2,675 kW;
- M - 2,568 kW;
- L - 6,298 kW;
- G - 12,855 kW;
- H - 4,655 kW;
- F - 5,883 kW;
- E - 9,084 kW;

Somando as potências consumidas por todos estes edifícios com a potência consumida pelo edifício I, chegamos a um valor de potência de 62,929kW.

Na Tabela 6.1 apresentam-se os custos mensais da potência associada aos sistemas de iluminação e computadores ligados nestes edifícios, para uma melhor perceção do quanto representam numa fatura energética mensal da FEUP. Foi tomada uma potência aproximada de 63kW durante o período das 00.00h às 07.00h dos 5 dias de trabalho de uma semana, acrescidos das 24h dos dias de Sábado e Domingo. O cenário proposto é do quanto seria possível poupar por mês na hipótese de haver um corte completo destas cargas nos períodos discriminados, considerando que elas consomem ininterruptamente 63kW de potência.

Para esta estimativa foram aplicadas as tarifas elétricas pagas pela FEUP em 2013, acrescidas das tarifas de acesso às redes para o quarto trimestre do mesmo ano.

Tabela 6.1 - Custos Mensais

00.00/07.00h									
SEGUNDA A SEXTA			Potência Média Registrada (kW)		63				
Considerando 4 períodos semanais	Nº Horas Diárias:	7	Média Diária (kWh)		441				
	Nº Horas Semanais:	35	Média Semanal (kWh)		2205				
			*T.E. (€/kWh)	**T.A.R. (€/kWh)	Diário (kWh)	Semanal (kWh)	Mensal (kWh)	Custo Mensal (€)	
Energia Ativa Cheias			0,0708	0,0236	00.00/00.30h	31,5	157,5	630	59,472
Energia Ativa Vazio Normal			0,0591	0,0150	00.30/02.00h	94,5	472,5	1890	140,049
					06.00/07.30h	63	315	1260	93,366
Super Vazio			0,0585	0,0144	02.00/06.00h	252	1260	5040	367,416
TOTAIS					441	2205	8820	660,303	
Período de Estudo: 24h									
00.00/07.00h									
SÁBADO			Potência Média Registrada (kW)		63				
Considerando 4 fins-de- semana	Nº Horas Diárias:	7	Média Diária (kWh)		441				
	Nº Horas Mensais:	28	Média Mensal (kWh)		1764				
			T.E. (€/kWh)	T.A.R. (€/kWh)	Diário (kWh)	Mensal (kWh)	Custo Mensal (€)		
Energia Ativa Vazio Normal			0,0591	0,0150	00.00/03.00h	189	756	56,0196	
Super Vazio			0,0585	0,0144	03.00/07.00h	252	1008	73,4832	
TOTAIS					441	1764	129,5028		

07.00/20.00h

SÁBADO			Potência Média Registrada (kW)		63			
Considerando 4 fins-de- semana	Nº Horas Diárias:	13	Média Diária (kWh)		819			
	Nº Horas Mensais:	52	Média Mensal (kWh)		3276			
			T.E. (€/kWh)	T.A.R. (€/kWh)	Diário (kWh)	Mensal (kWh)	Custo Mensal (€)	
Energia Ativa Vazio Normal			0,0591	0,0150	07.00/10.30h	220,5	882	65,3562
			0,0591	0,0150	12.30/17.30h	315	1260	93,366
Energia Ativa Cheias			0,0708	0,0236	10.30/12.30h	126	504	47,5776
			0,0708	0,0236	17.30/22.30h	157,5	504	47,5776
TOTAIS					819	3150	253,8774	

20.00/24.00h

SÁBADO			Potência Média Registrada (kW)		63			
Considerando 4 fins-de- semana	Nº Horas Diárias:	4	Média Diária (kWh)		252			
	Nº Horas Mensais:	16	Média Mensal (kWh)		1008			
			T.E. (€/kWh)	T.A.R. (€/kWh)	Diário (kWh)	Mensal (kWh)	Custo Mensal (€)	
Energia Ativa Vazio Normal			0,0591	0,0150	22.30/24.00h	94,5	378	28,0098
Energia Ativa Cheias			0,0708	0,0236	17.30/22.30h	157,5	504	47,5776
			TOTAIS		252	882	75,5874	
			TOTAL MENSAL SÁBADOS (€)					458,9676

Período de Estudo: 24h								
00.00/07.00h								
DOMINGO			Potência Média Registrada (kW)		63			
Considerando 4 fins-de- semana	Nº Horas Diárias:	7	Média Diária (kWh)		441			
	Nº Horas Mensais:	28	Média Mensal (kWh)		1764			
			T.E. (€/kWh)	T.A.R. (€/kWh)	Diário (kWh)	Mensal (kWh)	Custo Mensal (€)	
Energia Ativa Vazio Normal			0,0591	0,0150	00.00/04.00h	252	1008	74,6928
Super Vazio			0,0585	0,0144	04.00/08.00h	189	756	55,1124
TOTAIS					441	1764	129,8052	
07.00/20.00h								
DOMINGO			Potência Média Registrada (kW)		63			
Considerando 4 fins-de- semana	Nº Horas Diárias:	13	Média Diária (kWh)		819			
	Nº Horas Mensais:	52	Média Mensal (kWh)		3276			
			T.E. (€/kWh)	T.A.R. (€/kWh)	Diário (kWh)	Mensal (kWh)	Custo Mensal (€)	
Energia Ativa Vazio Normal			0,0591	0,0150	08.00/24.00h	756	3024	224,0784
Super Vazio			0,0585	0,0144	04.00/08.00h	63	252	18,3708
TOTAIS					819	3276	242,4492	

20.00/24.00h

DOMINGO			Potência Média Registada (kW)		63			
Considerando 4 fins-de- semana	Nº Horas Diárias:	4	Média Diária (kWh)		252			
	Nº Horas Mensais:	16	Média Mensal (kWh)		1008			
			T.E. (€/kWh)	T.A.R. (€/kWh)	Diário (kWh)	Mensal (kWh)	Custo Mensal (€)	
Energia Ativa Vazio Normal			0,0591	0,0150	08.00/24.00h	252	1008	74,6928
			TOTALS		252	1008	74,6928	
			TOTAL MENSAL DOMINGOS (€)					446,9472

Poupança Mensal (€)	1566,2178
---------------------	-----------

*T.E. - Tarifa Elétrica para 2013

** T.A.R. - Tarifa de Acesso às Redes

6.2 Propostas de Melhoria de Eficiência Energética para os Sistemas de Iluminação

Dada a diversidade de soluções eficientes que o mercado oferece ao nível de lâmpadas, elaborou-se uma folha de cálculo com um projeto de investimento de substituição das atuais lâmpadas T8 que equipam o edifício por lâmpadas mais eficientes de tecnologia T5.

Foram realizadas 2 estimativas; a primeira do quanto se pouparia na fatura energética do edifício I se substituíssemos todas as lâmpadas de 58W que estão permanentemente ligadas nos corredores e átrios, por modelos T5 de potência 49W; a segunda estimativa apresenta as poupanças que advém da substituição das lâmpadas T8 de 18W, que à semelhança das de 58W também iluminam os corredores e átrios do edifício, por lâmpadas T5 de 14W de potência.

A substituição das lâmpadas implica a adaptação dos terminais das armaduras das luminárias, uma vez que neste momento apenas têm previstos a aplicação de tecnologia T8. As lâmpadas de 58W instaladas apresentam um comprimento standard de 150cm enquanto as de 49W são ligeiramente inferiores no seu comprimento em cerca de 50cm. Em relação às lâmpadas de 18W instaladas, estas caracterizam-se por possuir um comprimento standard de 60cm em comparação com os 55cm das de 14W. Este aspeto de diferença de comprimentos pode ser corrigido para ambas as situações recorrendo a adaptadores específicos que se ligam nos terminais das luminárias, com o objetivo de estender o comprimento total destas. A possibilidade de adaptação das atuais luminárias para encaixe de lâmpadas T5 significa que não há necessidade de substituição das atuais armaduras, facilitando o processo de substituição.

Para além de garantirem maiores índices de eficiência gerais, as lâmpadas T5 apresentam sensivelmente o mesmo fluxo luminoso que as lâmpadas T8 para uma potência de consumo inferior, garantindo assim que não há um comprometimento dos níveis de iluminância recomendados, para os locais de implementação previstos.

A substituição das lâmpadas T8 por T5 pressupõe também a aquisição de balastros eletrónicos, uma vez que esta tecnologia só funciona especificamente com este equipamento auxiliar. Por cada lâmpada de 49W, é necessário um balastro eletrónico, enquanto para as armaduras de 4 lâmpadas que passariam a ter lâmpadas de 14W seriam necessários 2 balastros, servindo um único para 2 unidades.

6.2.1 Projeto de Substituição de Lâmpadas T8 58W por Lâmpadas T5 de 49W

Este estudo visa uma substituição de um total de 129 lâmpadas que operam 8760 horas anuais. O custo da energia elétrica aplicado nos cálculos resultou de uma média ponderada das quatro tarifas que compõe o sistema tarifário para clientes MT, respectivamente energia ativa para as horas de ponta, cheias, vazio normal e super vazio. O custo resultante desta média ponderada é de cerca de 0,09€ por kWh.

À semelhança de cálculos anteriores considerou-se que cada balastro magnético instalado nas luminárias consome 10% da potência nominal da lâmpada, enquanto para os balastros eletrónicos estipulou-se um consumo de 3%.

Nas Tabela 6.2 e 6.3 apresentam-se os custos operacionais e as poupanças obtidas considerando a substituição de lâmpadas T8 de 58W por lâmpadas T5 de 49W.

Tabela 6.2 - Custos operativos das lâmpadas T8 de 58W instaladas nos corredores e átrios durante um ano de funcionamento

Espaço de Intervenção	Potência Instalada em Luminárias (W)	Potência Real Consumida (Lâmpada + Balastro) (W)	Energia 1 Ano - 8760h (kWh)	Custos de Energia Anuais (€)
Piso 0 Nascente + Poente				
I072	580	638	5588,88	500,48
I079	232	255,2	2032,32	181,99
I076	232	255,2	2032,32	191,99
Piso 1 Nascente				
I177	232	255,2	2235,55	200,19
Piso 2 Nascente				
I277	116	127,6	1117,77	100,10
Piso 3 Nascente				
I377	116	127,6	1117,77	100,10
I379	696	765,6	6706,65	600,58
Piso -1 Nascente				
I-180	232	255,2	2235,55	200,19
Piso 1 Poente				
I173	174	191,4	1676,66	150,15
I104	928	1020,8	8942,21	800,77
Piso 2 Poente				
I273	232	255,2	2235,55	200,19
Piso 3 Poente				
I373	174	191,4	1676,66	150,15
I375	696	765,6	6706,65	600,58
Piso -1 Poente				
I-173	232	255,2	2235,55	200,19
I-105	1194	1313,4	11505,38	1030,31
I-174	174	191,4	1676,66	150,15
I-175	1450	1595	13972,2	1251,21
Totais Anuais			73694,4 kWh	€ 6599,3

Tabela 6.3 - Custos operativos das lâmpadas T5 de 49W instaladas nos corredores e átrios durante um ano de funcionamento

Espaço de Intervenção	Potência Instalada em Luminárias (W)	Potência Real Consumida (Lâmpada + Balastro) (W)	Energia 1 Ano - 8760h (kWh)	Custos de Energia Anuais (€)
Piso 0 Nascente + Poente				
I072	490	504,7	4421,17	395,92
I079	196	201,9	1768,47	158,37
I076	196	201,9	1768,47	158,37
Piso 1 Nascente				
I177	196	201,9	1768,47	157,37
Piso 2 Nascente				
I277	98	100,9	884,23	79,18
Piso 3 Nascente				
I377	98	100,9	884,23	79,18
I379	588	605,6	5305,41	475,10
Piso -1 Nascente				
I-180	196	201,9	1768,47	157,37
Piso 1 Poente				
I173	147	151,4	1326,35	118,77
I104	784	807,5	7073,88	633,47
Piso 2 Poente				
I273	196	201,9	1768,47	158,37
Piso 3 Poente				
I373	147	151,4	1326,35	118,77
I375	588	605,6	5305,41	475,10
Piso -1 Poente				
I-173	196	201,9	1768,47	158,37
I-105	1041	1072,2	9392,73	841,12
I-174	147	151,4	1326,35	118,77
I-175	1225	1261,8	11052,93	989,79
Totais Anuais			58806,84 kWh	€ 5275,38

As poupanças de energia advindas da implementação de lâmpadas T5 são de 14887 kWh por ano, uma redução de cerca de 20% em relação ao atual cenário. Esta redução de energia permitiria poupar um total bruto de €1333 ao ano.

6.2.2 Estudo de Rentabilidade Económica de um Investimento em Lâmpadas T5 de 49W

Nesta secção apresenta-se um estudo de rentabilidade resultante do investimento em 129 lâmpadas T5 de 49W para instalar no edifício I.

Como referido na secção anterior a intervenção em cada lâmpada pressupõe a substituição do balastro e dos adaptadores de extensão de T8 para T5.

De entre os modelos de lâmpadas no mercado escolheu-se uma lâmpada da fabricante Osram, modelo Lumilux T5 HO 49W/865 G5. Estas lâmpadas apresentam uma tonalidade branco azulado semelhante às T8 atualmente instaladas, e atingem uma eficiência luminosa de 93 lm/W para uma temperatura ambiente de 35°C. A vida operativa destes modelos rondam as 20000 horas. Estas lâmpadas encontram-se disponíveis no mercado nacional a um preço de €6,41, preço já acrescido de IVA a 23%.

O modelo de balastro eletrónico escolhido foi um Phillips HF-Performer 49W. Este modelo só pode ser adquirido via encomenda pelo estrangeiro, pelo que o preço indicado pelo fabricante é isento dos custos associados aos portes de envio e outros impostos. O preço indicado no sítio online por unidade é de €15,33. A outra opção seria obter preços a partir de algum revendedor nacional, mas dado que os revendedores aplicam as suas taxas de venda por cada produto encomendado à marca, um pedido direto ao fabricante resultaria em condições de negócio mais vantajosas.

Os adaptadores T8 para T5 também só podem ser adquiridos por encomenda, uma vez que não há revendedor no mercado nacional para este tipo de produtos. O preço por adaptador ronda os €2,45, e uma vez mais é isento de cargos associados ao envio do produto e outros impostos.

O preço completo para adaptação de uma armadura resulta então no somatório do preço da respetiva lâmpada, um balastro e de dois adaptadores e é de €26,64. Dado que este preço inclui somas de preços isentos de impostos, foi tomado um valor arredondado de €30.

Multiplicando por 129 armaduras, temos um custo total de investimento de €3870. O preço de 129 lâmpadas T5 do referido modelo é de €826,7.

Uma vez que a previsão é que as lâmpadas funcionem 24 horas num dia, o que perfaz um total de 8760 horas num ano, o ciclo de substituição das lâmpadas ocorre a cada 2,3 anos ou 27,4 meses. O universo de cálculo não prevê uma evolução mensal mas antes anual, por isso considerou-se que as lâmpadas teriam de ser substituídas ao fim de 3 anos. O projeto de investimento é simulado para 10 anos.

Na Tabela 6.4 apresentam-se os resultados da simulação.

Tabela 6.4 - Estudo de Rentabilidade Económica por Investimento em Lâmpadas T5 de 49W

		Resultados Previstos com 10 anos de Investimento										
		Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Reconstituição dos Cash Flows												
(-) Investimento 129 Armaduras		3043,3										
(-) Investimento 129 Lâmpadas		826,7			826,7			826,7			826,7	
(-) Investimento Total Inicial		3870										
Valor a Amortizar do Investimento Inicial			3870	2536,82	1203,64	0	0	0	0	0	0	0
Valor a Amortizar da Substituição das Lâmpadas			0	0	826,7	697,16	0	826,7	0	0	826,7	0
(+) Amortização do Investimento Inicial			1333,18	1333,18	1203,64	0	0	0	0	0	0	0
(+) Amortização da Substituição das Lâmpadas			0	0	129,54	697,16	0	826,7	0	0	826,7	0
(+) Resultado Líquido			1333,18	1333,18	1333,18	1333,18	1333,18	1333,18	1333,18	1333,18	1333,18	1333,18
(+) Lucro Operacional			0,00	0,00	0,00	636,01	1333,18	506,48	1333,18	1333,18	506,48	1333,18
Cash Flows		-3870	2666,36	2666,36	1839,66	2030,34	1333,18	1333,18	1333,18	1333,18	1333,18	1333,18
TIR 10 Anos		58%										
TIR 5 Anos		54%										

Da Tabela 6.4 retira-se que o projeto apresenta um lucro operacional a partir do 4º ano e apresenta taxas internas de rentabilidade de 58% e 54% para 10 e 5 anos respectivamente. A amortização do valor integral de investimento inicial ocorre no 3º ano.

6.2.3 Projeto de Substituição de Lâmpadas T8 18W por Lâmpadas T5 de 14W

Nesta secção apresenta-se uma proposta de substituição das lâmpadas T8 de 18W que equipam as armaduras dos corredores e átrios do edifício I, por lâmpadas eficientes de tecnologia T5 de 14W. Este processo prevê a intervenção num total de 58 armaduras que possuem um total de 232 lâmpadas. Todas as considerações acerca do preço de energia e das potências consumidas pelos balastros são as mesmas que foram enunciadas na secção 6.2.1 deste documento.

Nas Tabelas 6.5 e 6.6 apresentam-se os custos operacionais e as poupanças obtidas por substituição das lâmpadas T8 de 18W por lâmpadas T5 de 14W.

Tabela 6.5 - Custos operativos das lâmpadas T8 de 18W instaladas nos corredores e átrios durante um ano de funcionamento

Espaço de Intervenção	Potência Instalada em Luminárias (W)	Potência Real Consumida (Lâmpada + Balastro) (W)	Energia 1 Ano - 8760h (kWh)	Custos de Energia Anuais (€)
Piso 0 Nascente + Poente				
I012A	216	237,6	2081,38	186,39
I078	576	633,6	5045,76	451,85
I074	720	792	6307,2	564,81
I075	360	396	3153,6	282,4
I077	576	633,6	5045,76	451,85
Piso 1 Nascente				
I179	288	316,8	2775,17	248,52
Piso 2 Nascente				
I279	288	316,8	2775,17	248,52
Piso 3 Nascente				
I379	288	316,8	2775,17	248,52
Piso 1 Poente				
I175	288	316,8	2775,17	248,52
Piso 2 Poente				
I275	288	316,8	2775,17	248,52
Piso 3 Poente				
I375	288	316,8	2775,17	248,52
Totais Anuais			38284,7 kWh	€ 3428,4

Tabela 6.6 - Custos operativos das lâmpadas T5 de 14W instaladas nos corredores e átrios durante um ano de funcionamento

Espaço de Intervenção	Potência Instalada em Luminárias (W)	Potência Real Consumida (Lâmpada + Balastro) (W)	Energia 1 Ano - 8760h (kWh)	Custos de Energia Anuais (€)
Piso 0 Nascente + Poente				
I012A	168	173,04	1515,83	135,74
I078	448	461,44	3924,48	351,44
I074	560	576,8	4905,6	439,30
I075	280	288,4	2452,8	219,65
I077	448	461,44	3924,48	351,44
Piso 1 Nascente				
I179	224	230,72	2021,11	180,99
Piso 2 Nascente				
I279	224	230,72	2021,11	180,99
Piso 3 Nascente				
I379	224	230,72	2021,11	180,99
Piso 1 Poente				
I175	224	230,72	2021,11	180,99
Piso 2 Poente				
I275	224	230,72	2021,11	180,99
Piso 3 Poente				
I375	224	230,72	2021,11	180,99
Totais Anuais			28849,8 kWh	€ 2583,5

As poupanças do cenário considerado seriam de cerca de 9434,87kWh por ano, o que representa uma redução de energia de 25% em relação ao cenário atual. Em termos de encaixes financeiros, as poupanças seriam de cerca de €844 por ano.

6.2.4 Estudo de Rentabilidade Económica de um Investimento em Lâmpadas T5 de 14W

Analogamente à secção 6.2.2 deste documento, aqui apresenta-se o estudo de rentabilidade de um investimento em 58 luminárias, que prevê a instalação de 232 lâmpadas eficientes T5 de 14W, no edifício I.

A lâmpada escolhida foi uma Osram, modelo FH 14W/865 HE FLH1. Esta lâmpada apresenta uma eficiência luminosa até 93 lm/W para temperaturas de funcionamento de 35°C e uma tonalidade branco azulado semelhante à tonalidade das lâmpadas T8 de 18W atualmente instaladas. A vida operativa destas lâmpadas estende-se também até as 20000 horas. Estas lâmpadas podem ser adquiridas no mercado nacional, sendo que o preço final de venda ao consumidor por unidade é de €3,09.

O balastro eletrónico escolhido foi um Phillips HF-Performer 2x14W-35W. Cada um destes balastros serve de equipamento auxiliar para 2 lâmpadas, e dado que cada armadura do edifício I tem 4 lâmpadas instaladas, seriam portanto necessários 2 balastros por luminária. À semelhança do preço apresentado para o balastro eletrónico de 49W, o preço destes balastros também é isento de impostos e encargos relativos ao envio do produto, cifrando-se nos €13,5 por unidade.

Cada lâmpada prevê a instalação de adaptadores de conversão T8 para T5, por forma a aproveitar as atuais armaduras, sendo cada adaptador é igual aos aplicados para lâmpadas de 49W, mas modelado para encaixe em diferenças de comprimento mais curtas. O preço unitário por cada adaptador isento de impostos é também de €2,45.

O preço por substituição de cada luminária resulta da soma dos preços de 4 lâmpadas T5 de 14W, 8 adaptadores T8 para T5 e 2 balastros eletrónicos, resultando em €58,95, que para efeito de cálculo e também como forma de compensação pelo facto de nem todos os preços serem acrescidos de impostos, foi arredondado para €60. Multiplicando este preço por 58 armaduras temos um total de €3480 de investimento em equipamento, sendo que deste valor, €716 representam o custo das 232 lâmpadas.

À semelhança da simulação de investimento efetuada na secção 6.2.2, considerou-se que as lâmpadas irão funcionar um total 8760 horas anuais, o que significa novamente uma substituição das lâmpadas a cada 3 anos. O estudo apresenta uma visão de rentabilidade a 10 anos.

Os resultados apresentam-se na Tabela 6.7.

Tabela 6.7 - Estudo de Rentabilidade Económica por Investimento em Lâmpadas T5 de 14W

Resultados Previstos com 10 anos de Investimento											
	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Reconstituição dos Cash Flows											
(-) Investimento 58 Armaduras	2764										
(-) Investimento 232 Lâmpadas	716,3		716,3		716,3		716,3		716,3		
(-) Investimento Total Inicial	3480										
Valor a Amortizar do Investimento Inicial	3480	2635,11	1790,21	945,32	100,43	0	0	0	0	0	0
Valor a Amortizar da Substituição das Lâmpadas	0	0	716,3	716,3	716,3	688,04	0	0	716,3	0	
(+) Amortização do Investimento Inicial	844,89	844,89	844,89	844,89	844,89	100,43	0	0	0	0	0
(+) Amortização da Substituição das Lâmpadas	0	0	0	0	0	744,46	688,04	0	716,3	0	
(+) Resultado Líquido	844,89	844,89	844,89	844,89	844,89	844,89	844,89	844,89	844,89	844,89	844,89
(+) Lucro Operacional	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	156,85	844,89	128,64	844,89	
Cash Flows	-3480	1689,79	1689,79	973,53	1689,79	1689,79	973,53	1532,94	844,89	844,89	844,89
TIR 10 Anos	41%										
TIR 5 Anos	35%										

As principais observações a retirar da Tabela 6.8 são de que o projeto apresenta lucro operacional a partir do 7º ano, que corresponde ao primeiro ano para o qual não há amortização do investimento inicial. As taxas internas de rentabilidade são de 41% para 10 anos, mas ao fim de 5 anos já é expectável um valor atrativo de rentabilidade de 35%.

6.2.5 Análise dos Resultados das Simulações

Existe a necessidade de equacionar economicamente o cenário proposto, para verificar se o capital investido é remunerado e reembolsado de modo a que as receitas geradas superem as despesas de investimento e de funcionamento realizados num dado período de tempo.

Para se efetuar a análise financeira dos projetos apresentados, é necessário o conhecimento de alguns conceitos relacionados com matemática financeira, sendo que a seguir serão apresentados apenas aqueles mais relevantes para a interpretação dos resultados alcançados.

Custo de Oportunidade - Pode ser considerado como um juro alternativo, isto é a taxa de juro que o investidor pretende, para optar pelo investimento, em detrimento de outro. Este conceito representa o valor associado à melhor alternativa não escolhida. Ao se tomar determinada escolha, deixa-se de lado as demais possibilidades, pois são excludentes. À alternativa escolhida, associa-se como “custo de oportunidade” o maior benefício não obtido das possibilidades não escolhidas, isto é, “a escolha de determinada opção impede o usufruto dos benefícios que as outras opções poderiam proporcionar”.

Para ambos os projetos estipulou-se como taxa de oportunidade a taxa de 15%, que é comparável às taxas estipuladas pelos bancos para créditos ao consumo. Embora seja uma taxa que sugira um elevado risco do projeto, é seguro afirmar que o projeto comporta poucos riscos, o que equivale a afirmar que a rentabilidade será sempre garantida. Seria interessante comparar esta taxa de custo de oportunidade com as rentabilidades de potenciais investimentos alternativos da FEUP, mas não foi possível obter informações em relação a este ponto.

Taxa Interna de Rentabilidade - O cálculo da taxa interna de rentabilidade permite determinar a taxa de juro que o projeto renderá sobre o valor de capital investido. Isto é, calcula uma taxa de juro equivalente à remuneração do capital obtido, o que é equivalente a dizer que é a taxa que, no final dos n anos (10), iguala o VAL a zero.

Existem ainda alguns dados importantes a ressaltar destas estimativas orçamentais. Primeiramente, não se considerou a taxa de inflação sobre o custo da energia, que tipicamente implicaria flutuações na recuperação de capitais ao longo dos anos. O efeito da inflação anual

sobre o custo da energia constitui-se como um fator vantajoso na perspectiva de quem investe, uma vez que irá aumentar os resultados líquidos e consequentemente os lucros operacionais decorrentes das poupanças dos consumos de energia. Esta variável não foi considerada uma vez que não é possível estimar em rigor a variação do custo da energia anual, podendo-se contudo afirmar com elevado grau de certeza que um fenómeno de deflação do preço não é expectável. Este grau de incerteza na variação do preço da energia fica ainda mais reforçado quando o universo da estimativa se prolonga até 10 anos.

O segundo fator não considerado prende-se com a mão-de-obra indispensável e associada à substituição e manutenção das luminárias. Estes encargos seriam somados no ano 0 de investimento e a cada 3 anos de substituição de lâmpadas. A não inclusão dos custos de manutenção prende-se com a dificuldade em estimar em detalhe a remuneração de uma hora de trabalho do corpo técnico responsável pela manutenção dos equipamentos do Edifício I da FEUP, isto supondo que o processo de substituição das luminárias e posterior manutenção ao longo dos anos seria conduzido por profissionais vinculados à instituição. Em contraponto com a taxa de inflação de energia, a inclusão desta variável implicaria custos acrescidos ao projeto, logo valores de rentabilidade interna mais baixos.

Um outro importante aspeto a considerar está relacionado com o fim último que seria dado ao equipamento elétrico que seria substituído. Caso os equipamentos tivessem sido já sujeitos a elevados ciclo de trabalho, e os componentes apresentassem sinais de desgaste, o valor comercial dos equipamentos seria muito baixo ou praticamente inexistente. Caso contrário, poderia ser ainda possível obter um montante interessante pelo abate das atuais instalações, constituindo-se assim mais uma fonte de lucro.

Para o primeiro estudo, as taxas internas de rentabilidade para 5 ou 10 anos (54% e 58%) são muito superiores ao custo de oportunidade de 15%, o que indica que o projeto é economicamente viável e interessante. Mesmo com a não inclusão das variáveis acima mencionadas, a larga distância entre a TIR e o custo de oportunidade será sempre um indicador da robustez da solução face ao risco.

Para o segundo projeto, as taxas internas de rentabilidade a 5 ou 10 anos (35% e 41%) apresentam-se novamente superiores ao custo de oportunidade, o que pode ser interpretado como um indicador de robustez da solução apresentada.

6.2.6 Propostas de Melhoria de Eficiência para Corredores e Átrios

Durante o processo de levantamento, verificou-se que as luminárias dos corredores e átrios ligam de forma alternada, fenómeno que aliás se verifica para todos os espaços da mesma

categoria. Cada corredor dispõe de dois circuitos de iluminação, que são acionados a partir de dois interruptores modulares localizados nos quadros parciais de cada piso. A prática de se recorrer à ligação de forma alternada tem como objetivo a obtenção de alguma poupança, mas resulta também numa clara má uniformidade no que à distribuição da luz concerne. Em alguns locais, os níveis de iluminância situam-se abaixo dos valores de referência, recordando para tal os valores obtidos na Tabela 5.3.

Esta situação poderia ser compensada se se ligassem todas as luminárias de forma sequencial, mas garantindo ao mesmo tempo que ao invés de estarem 4 lâmpadas acesas por armadura, estariam apenas 2. Para uma completa gestão integrada da energia consumida por sistemas de iluminação nos corredores, e sem que para tal se coloque em causa os níveis de conforto de todos os que frequentam estes espaços, seria sugerido que se estipulassem dois níveis de iluminância, consoante a presença ou ausência de pessoas. Desta forma, obter-se-ia um nível de iluminância reduzido quando não existem pessoas a circular, especialmente orientado aos períodos noturnos (00.00h/07.00h), e outro com os valores de referência para zonas de circulação (média de 100 lux) quando detetada a circulação de utilizadores. Outra solução mais eficiente ainda seria a implementação de um sistema que prevê três níveis de iluminância; o primeiro nível, em que o fluxo luminoso emitido é de 100%, para quando fosse detetada a passagem de uma pessoa, sendo que este fluxo poder-se-ia manter durante um período de tempo regulável. Após este período de tempo, o fluxo luminoso começava a diminuir de forma progressiva até aos 10%, estado este que corresponderia ao segundo nível. O último nível seria um estado em que a iluminação ficava desligada por completo, até ser novamente detetado algum movimento.

Estaríamos portanto a considerar a implementação de um sistema de controlo de deteção por infravermelhos para os dois circuitos de iluminação, complementado com regulação de fluxo luminoso das luminárias. Dada a extensão dos corredores, em regra superiores a 15 metros de extensão, a solução poderia passar pela instalação de dois sensores infravermelhos, respetivamente a 1/3 e a 2/3 do comprimento do corredor, por forma a possibilitar um varrimento completo do espaço e evitar “black spots”. O sistema de regulação de fluxo só é compatível com balastros eletrónicos de classe A1 (com dimming) e nem todos os balastros permitem uma redução do fluxo de forma contínua até aos 0%.

Esta solução prevê portanto poupanças adicionais, quando já implementadas em sistemas de iluminação que integram lâmpadas T5 eficientes e balastros eletrónicos.

6.2.7 Propostas de Melhoria de Eficiência para Laboratórios

Uma das propostas de melhoria sugeridas para estes espaços, e dada a existência de vidraças na grande maioria dos laboratórios, passaria pela implementação de um sistema de regulação contínua do fluxo em função da iluminação interior. O princípio de funcionamento deste sistema baseia-se na medição da luminância da janela por parte de um sensor, que é proporcional à quantidade de luz natural. No sensor seria estabelecida uma correspondência entre o nível medido e a regulação do balastro, mantendo o nível de luminância constante e dentro dos valores pretendidos.

O problema que decorre da implementação desta medida prende-se com a necessidade de as armaduras estarem dispostas paralelamente às janelas, por forma a possibilitar uma regulação de fluxo luminoso apenas naquelas mais próximas. Este sistema de regulação de fluxo não se justifica para as filas de luminárias mais afastadas das janelas e, uma vez que a disposição das armaduras nos diferentes laboratórios não segue um critério uniforme, esta solução não é aplicável a todos os laboratórios. Esta medida necessitaria também de instalação de balastros eletrónicos de classe A1 para os laboratórios.

Durante o processo de levantamento, um dos aspetos levantados pelos assistentes que ocupam e zelam pelos laboratórios prende-se com a falta de um interruptor independente para o grupo de luminárias diretamente afeto à iluminação das cabines reservadas para os assistentes. A iluminação destas cabines é indiretamente conseguida por um grupo de luminárias acionadas por um comutador de lustre do laboratório, o que significa que a iluminação do espaço de trabalho dos assistentes implica a iluminação parcial do espaço laboratorial e consequentemente um desperdício de energia. Em períodos de pausa de aulas, em que cada os assistentes são os únicos residentes dos laboratórios, esta situação ganha ainda mais importância. A sua correção implicaria um redesenho dos circuitos de iluminação de cada laboratório, por forma a instalar um interruptor individual para controlo das luminárias mais próximas das cabines.

6.2.8 Propostas de Melhoria de Eficiência para Gabinetes

A maior parte dos gabinetes individuais do edifício I possui uma área inferior a 14m², e têm na maior parte dos casos, uma ou mais vidraças. Como já referido em pontos anteriores, cada gabinete possui 3 armaduras com luminárias fluorescentes T8 bem como um foco de iluminação indireta. A boa iluminação natural destes espaços tornaria interessante a aplicação de um sensor de luminosidade por forma a regular o fluxo emitido pelas luminárias. Esta solução,

contudo, pode não originar grandes poupanças energéticas quando analisamos a rentabilidade que daqui se retira, pois regra geral, a boa prática indica que para espaços de menores dimensões que possuem abundância de luz natural, a iluminação artificial é totalmente dispensável. Cabe portanto aos utilizadores destes espaços fazer uma correta gestão e avaliação do papel da luz. Realce-se ainda, que muitas secretárias de trabalho já possuem focos de luz de ligação à tomada elétrica.

Posto isto, uma possível solução da qual poderiam advir poupanças significativas seria a partir da instalação de um interruptor dedicado para a luminária mais próxima da área de trabalho de cada utilizador. O comutador de lustre de cada gabinete poderia ser repensado por forma a acionar alternadamente as luminárias do teto, à semelhança dos laboratórios, e a luminária de parede que projeta luz indireta poderia ser desligada, dado o pouco uso que esta tem por grande parte dos utilizadores.

6.3 Conclusão

Ao longo deste capítulo foram apresentadas soluções para melhoria da eficiência energética no edifício I, as quais se focam principalmente na correção de usos de energia ineficientes relacionados com os sistemas de iluminação. Para cada grande categoria de espaço do edifício, formalizou-se um conjunto de observações e propostas, tendo como pressupostos o enquadramento, atividade desenvolvida, bem como o número de utilizadores que diariamente frequentam determinada categoria de espaço. Desta análise aprofundada, identificaram-se os principais aspetos suscetíveis a correção ou ajuste, e tentou-se estabelecer um conjunto de medidas seguindo um critério custo-benefício.

A metodologia de trabalho aplicada ao edifício I, bem como a decorrente análise e estudo, visando a promoção de práticas e medidas de eficiência energética, pode e deverá ser replicada para os restantes edifícios que acomodam os departamentos, uma vez que as deficiências estruturais identificadas e relacionadas com o mau aproveitamento da energia elétrica nas suas diversas vertentes, são também válidas para os restantes.

Do decorrer do processo de levantamento e posterior análise, conclui-se que o edifício I, bem como os restantes edifícios alvo de levantamento, são dotados de um conjunto de equipamentos e no geral de uma instalação elétrica que cumpre os padrões de qualidade e operação exigidos à data de conceção do edifício.

Em relação ao regime tarifário aplicado à FEUP, verificou-se que a transição para o mercado de comércio liberalizado de energia revelou-se uma opção acertada, dado o consumo significativo de eletricidade registado mensalmente. Para grandes consumidores de energia, a existência de um Posto de Transformação privativo, com regime de aquisição de energia em média tensão dividido em quatro horários é o cenário que garante maiores reduções efetivas de gastos com energia elétrica.

Capítulo 7

Conclusões e Perspetivas de Trabalho Futuro

A gestão de energia tem vindo a reclamar para si uma atenção crescente, enquanto área de ação estratégica por parte das empresas e dos agentes das instâncias governamentais, com vista ao estabelecimento de políticas sustentáveis. A estipulação de programas de ação nacional para a eficiência energética, em sentido com as diretivas europeias em vigor, têm vindo progressivamente a influenciar as decisões dos agentes decisores, sendo que para muitos o tópico de gestão racional e eficiente de energia é já considerado um dos fatores de maior influência no desenvolvimento de uma economia competitiva. Uma vez que o crescimento da atividade económica pressupõe um aumento nos consumos de energia, é expectável que a eficiência energética seja um tema em crescimento na mente dos decisores ainda não sensibilizados para as potencialidades que advém da imposição destas políticas “limpas”.

Cada vez mais se assiste a uma mudança de paradigma da opinião pública para a política do poluidor pagador, política esta baseada no princípio de penalizar fortemente as empresas ou instituições menos eficientes.

Em contraponto com este pensamento, existem ainda muitas empresas e organismos que negligenciam o papel da eficiência energética, sendo esta ainda apontada como uma área de luxo e distante da realidade presente. De facto, os custos associados aos gastos energéticos são classificados como o segundo maior motivo de obstáculo ao crescimento da competitividade interna das empresas, apenas ultrapassado pela legislação laboral, o que reforça a imposição de políticas de desenvolvimento eficiente no seu seio.

Inserida no âmbito desta vertente de ação energética, esta dissertação teve por objetivo identificar as principais áreas de consumo energético da FEUP, e estipular um plano de intervenção nos principais sistemas de consumo com vista a uma maior racionalização no consumo de energia, contribuindo assim para uma redução da fatura de energia elétrica.

A metodologia de trabalho desenvolvida para auditoria do edifício I dividiu-se em três grandes etapas que se interrelacionam: reconhecimento e levantamento, identificação dos

principais problemas e estruturação dum plano de medidas de correção e melhoria dos índices de eficiência energética.

As principais dificuldades decorrentes da execução do processo de auditoria prenderam-se com a falta de um histórico ou registo dos principais equipamentos consumidores de energia. Descartando os sistemas de iluminação, a caracterização dos consumos de muitos equipamentos assumiu-se como uma tarefa difícil, dada a carência de ferramentas que possibilitassem uma análise do consumo de energia em detalhe de todos estes equipamentos. Seria interessante conhecer de forma pormenorizada, por exemplo, quanto representam no diagrama de cargas de um determinado edifício, as máquinas de potência nominal superior a 1 kW e o seu ciclo de funcionamento. Com base nesta observação, uma das possíveis medidas a reter para futuro seria a catalogação de todos os equipamentos de potência superior a 1kW, com registo das respetivas características técnicas, bem como o local exato de instalação. Este histórico poderia ser armazenado nos registos da Gestão Técnica Centralizada, garantindo assim uma base de dados de equipamentos mais detalhada. Com estes registos, a caracterização energética de um dado edifício ou conjunto de equipamentos e respetiva desagregação de consumos seria de mais fácil obtenção.

Os sistemas de iluminação e os equipamentos informáticos foram identificados como sendo os grupos de equipamentos que mais energia consomem, e consequentemente, aqueles que mais contribuem para a composição do diagrama de cargas do edifício I. Dado o elevado potencial de redução de consumos que os sistemas de iluminação oferecem, foi sobre estes que foram propostas a maior parte das soluções de melhoria de eficiência energética.

A redução dos custos energéticos associados aos sistemas de iluminação passa necessariamente pela utilização de equipamentos mais eficientes, a utilização de sistemas automáticos de controlo e comando da iluminação, bem como a valorização do papel da luz natural. Sem nunca perder de vista o compromisso entre a garantia das condições de luz que proporcionem aos utilizadores do edifício as condições de conforto, comodidade e segurança para o desenrolar das suas atividades, foram apresentadas soluções de mercado que garantem os níveis de iluminação recomendados utilizando para tal menos energia. O investimento em tecnologias de iluminação mais eficientes terá de ser sempre acompanhado por uma maior consciencialização por parte dos utilizadores para a importância de uma utilização racional da iluminação artificial, o que poderá passar por uma ação de formação.

Foram apresentadas duas simulações de investimento em lâmpadas eficientes de nova geração, e as poupanças ao nível dos consumos energéticos que elas proporcionam quando comparadas com a atual tecnologia de lâmpadas instaladas. Tendo em conta o enquadramento dos casos de estudos, os tempos de amortização dos investimentos iniciais necessários para o avanço dos projetos revelaram-se satisfatórios.

Futuramente, espera-se que a metodologia de trabalho aplicada em particular para o edifício I da FEUP possa ser extrapolada para os restantes edifícios que acomodam os departamentos dos cursos, ou mesmo para toda a infraestrutura, possibilitando assim a constituição de um plano estratégico integrado de ação para a eficiência energética, o que certamente teria um impacto significativo na redução dos custos operacionais e otimização de processos da instituição. Esta auditoria energética poderia ser realizada em articulação com a Gestão Técnica Centralizada, com o intuito principal de adquirir indicadores energéticos que permitam estabelecer uma base de análise realista dos reais gastos energéticos da FEUP. Os indicadores energéticos mais relevantes para um estudo desta natureza seriam a intensidade energética e a intensidade carbónica, e com base nestes poderiam ser propostos objetivos ou metas anuais de aumento de eficiência energética e redução de consumos.

Outra possível proposta seria estudar a rentabilidade económica e energética de investimento em luminárias T5 para substituição da atual tecnologia T8 existente, em todos os blocos de departamentos, alargando assim a outras infraestruturas a proposta apresentada neste documento.

Referências

- [1] ECO EDP - Energias de Portugal, Iniciativas Nacionais. Disponível em <http://www.eco.edp.pt/pt/particulares/conhecer/o-que-e-a-eficiencia-energetica/iniciativas-nacionais>. Acesso em Janeiro 2014.
- [2] ERA - Expense Reduction Analysts, “Gestão Energética: À procura da Eficiência Energética e da Optimização de Custos”. Disponível em <http://expensereduction.eu/pt-pt/blog/gest%C3%A3o-energ%C3%A9tica-%C3%A0-procura-da-efici%C3%Aancia-energ%C3%A9tica-e-da-optimiza%C3%A7%C3%A3o-de-custos#.UsvQ3bTtCBQ>. Acesso em Janeiro 2014.
- [3] Frost & Sullivan e Schneider Eletric, “A chave para edifícios sustentáveis e com melhor relação custo-benefício: Intelligent Energy”. Disponível em http://www2.schneider-electric.com/documents/support/white-papers/998-3162_frost-and-sullivan_Brazilian.pdf. Acesso Janeiro 2014.
- [4] INDRA, “Liderança tecnológica a serviço da sustentabilidade - Resumo”. Disponível em <http://www.indracompany.com/pt-br/soluciones-y-servicios/solucion/edif%C3%ADcios-sustent%C3%A1veis/10191/resumo>. Acesso em Janeiro 2014.
- [5] QEnergia - Qualidade e Gestão de Energia, “Promoção da Eficiência Energética: Novas Diretivas Europeias”. Disponível em <http://www.qenergia.pt/content/index.php?action=detailfo&rec=409>. Acesso Janeiro de 2014.
- [6] Diário da República, 1ª série - Nº70 - “Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética - 2016”, 2013.
- [7] Efinerg, “Estratégia da Eficiência Energética em PME”. Disponível em http://efinerg.aeportugal.pt/DocsFinais/EFINERG_Estrategia%20da%20Eficiencia%20Energetica%20em%20PME.pdf. Acesso em Janeiro 2014.
- [8] Hawken, Paul; Lovins, Amory; Lovins, L. Hunter (2000). *Natural Capitalism*. Back Bay Press, Time Warner Book Group. ISBN 0-316-35300-0
- [9] Energy Star -> Energy Strategies for Buildings & Plants -> Facility Owners and Managers -> Stamp Out Energy Waste. Endereço: <http://www.energystar.gov/buildings/facility-owners-and-managers/existing-buildings/save-energy/stamp-out-energy-waste#Office%20equipment>. Acesso em Janeiro 2014.
- [10] New York University -> Campus Projects -> Energy Strategy. Endereço: <http://www.nyu.edu/sustainability/campus.projects/energy.strategy/>. Acesso em Janeiro 2014.
- [11] Diário da Manhã, “A importância da iluminação artificial”. Disponível em <http://www.diariodamanha.com/noticias.asp?ID=50362>. Acesso em Janeiro 2014.

- [12] Engenharia Civil na Internet, “Iluminação Natural e Iluminação Artificial em Engenharia”. Disponível em <http://www.engenhariacivil.com/iluminacao-natural-iluminacao-artificial-engenharia>. Acesso em Janeiro 2014.
- [13] Preza de Araújo, Lucínio, “Tipos e Características de Lâmpadas”, Prof2000;
- [14] Teixeira, Armínio, “Tipos de Lâmpadas”, FEUP;
- [15] Brandão, Filipe Jorge Ferreira Brandão, “Eficiência e Gestão Energética dos Edifícios Municipais de Matosinhos”, 2012, FEUP;
- [16] Except, Led & Artificial Light Guide, “How to choose the best lamp for your purpose”. Disponível em <http://www.except.nl/en/#.en.articles.92-led-artificial-light-guide>. Acesso em Janeiro 2014.
- [17] Ehow, “Cost Difference in T5 vs. T8 Lights”. Disponível em http://www.ehow.com/info_8783701_cost-t5-vs-t8-lights.html. Acesso em Janeiro 2014.
- [18] <http://www.pacltg.com/index-2.html>
- [19] Visão Verde, “As vantagens e desvantagens das lâmpadas LED”. Disponível em <http://visao.sapo.pt/as-vantagens-e-desvantagens-das-lampadas-led=f710735>. Acesso em Janeiro 2014.
- [20] EUROPA -> Sínteses da legislação da EU -> Empresas -> Interações da política empresarial com outras políticas. Endereço: http://europa.eu/legislation_summaries/enterprise/interaction_with_other_policies/en0018_pt.htm#key. Acesso em Janeiro 2014
- [21] OSRAM -> Consumidor -> Iluminação para casa -> Alternativas para lâmpadas incandescentes -> Diretiva EU - Iluminação doméstica. Endereço: http://www.osram.pt/osram_pt/Consumidor/Iluminacao_para_casa/Alternativas_para_lmpadas_incandescentes/Directiva_EU_Iluminao_domstica_/index.html. Acesso em Janeiro 2014.
- [22] OSRAM. Disponível em http://www.osram.pt/osram_pt/. Acesso em Janeiro 2014.
- [23] Eco-Eletrónica, “Tecnologia T5 - Lâmpadas Fluorescentes”. Disponível em http://www.eco-electronica.com/documentos/Comparacao_T8_T5.pdf. Acesso em Janeiro 2014.
- [24] LedMania Portugal -> Notícias. Endereço: <http://www.ledmania.com.pt/index.php/noticias>. Acesso em Janeiro 2014.
- [25] Teixeira, Armínio, “Eficiência Energética das Instalações de Iluminação”, FEUP;
- [26] AGEFE, “Iluminação, Novos Regulamentos/Novas Oportunidades”, 2009. Disponível em <http://www.electroraed.com/pdfs/Iluminacao%20Novos%20Regulamentos-Novas%20Oportunidades%20-%20AGEFE%2014Mai09%20Leiria.pdf>. Acesso em Janeiro 2014.
- [27] Sisinc, “Electronic v Magnetic Ballasts”. Disponível em <http://www.sisinc.com.au/pdfs/electronic%20v%20magnetic%20ballasts.pdf>. Acesso em Janeiro 2014.

- [28] FEUP, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Disponível em https://sigarra.up.pt/feup/pt/WEB_PAGE.INICIAL. Acesso em Fevereiro 2014.
- [29] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, “Iluminância de Interiores”, NBR 5413, Abril 1992. Acesso em Fevereiro 2014.

Anexo A

Tabela A1 - O Plano Phase Out para Iluminação Doméstica [22]

2009	01/09/2009
<ul style="list-style-type: none"> Lâmpadas claras: Requisitos mínimos: Classe Energética C para lâmpadas ≥ 950 lm, Classe E para outras lâmpadas (exemplo: Phase Out de Incandescentes ≥ 100W) Lâmpadas foscas: Requisitos mínimos: Classe Energética A para todas as lâmpadas (no presente algumas CFLi e LEDs); Requisitos para mais informação na embalagem; Novas especificações técnicas para cada tecnologia. 	
2010	01/09/2010
<ul style="list-style-type: none"> Lâmpadas claras: Requisitos Mínimos Classe energética C para lâmpadas ≥ 725 lm (exemplo: Phase Out incandescentes GLS ≥ 75W). 	
2011	01/09/2011
<ul style="list-style-type: none"> Lâmpadas claras: Requisitos Mínimos Classe energética C para lâmpadas ≥ 450 lm (exemplo: Phase Out incandescentes GLS ≥ 60 W). 	
2012	01/09/2012
<ul style="list-style-type: none"> Lâmpadas claras: Requisitos Mínimos Classe energética C para lâmpadas ≥ 460 lm (exemplo: Phase Out incandescentes GLS ≥ 7 W). 	
2013	01/09/2013
<ul style="list-style-type: none"> Requisitos mais exigentes para especificações técnicas, definidas em 2009; Phase Out de lâmpadas com casquilhos S14, S15 ou S19. 	
2014	-
<ul style="list-style-type: none"> Análise do regulamento pela comissão europeia. 	
2016	01/09/2016
<ul style="list-style-type: none"> Lâmpadas claras: Requisitos mínimos Classe energética B para todas as lâmpadas exceto aquelas com casquilho G9 e R7s (= Phase Out das Classe C Halogéneo Economizadoras de Energia); Phase Out de lâmpadas com casquilhos E14/E27/B22d/B15d e potências ≤ 60V. 	

Tabela A2 - O Plano Phase Out para Iluminação Pública, Escritórios e Indústria [22]

2010
<ul style="list-style-type: none"> • Phase Out de lâmpadas fluorescentes halofosfóricas standard T8
2012
<ul style="list-style-type: none"> • Phase Out lâmpadas fluorescentes T12; • Phase Out lâmpadas de sódio de alta pressão (HPS): qualidade standard HPS (apenas afeta as E27/E40/PGZ12); • Phase Out lâmpadas de iodetos metálicos (MH): lâmpadas menos eficientes (apenas afeta as E27/E40/PGZ12).
2014
<ul style="list-style-type: none"> • Revisão das regulamentações pela comissão europeia.
2015
<ul style="list-style-type: none"> • Phase Out lâmpadas de mercúrio de alta pressão (HPM); • Phase Out lâmpadas “Plug-in/retrovit de sódio em alta pressão (=substituição direta para HPM).
2016
<ul style="list-style-type: none"> • Phase Out lâmpadas de iodetos metálicos (MH) de fraco desempenho (apenas afeta as E27/E40/PGZ12).

Anexo B

Figura B1 - O Plano Phase Out para Balastros e Luminárias [26]

2010 - Fase 1	13/04/2010
<ul style="list-style-type: none">• Balastros para Fluorescência: Permitidas apenas as Classes A1, A2, A3 e B1 (exigida marcação);• Informação técnica completa - disponível na Internet e Catálogos de Balastros e Luminárias;• Standby máximo de 1W na fluorescência.	
2012 - Fase 2	13/04/2012
<ul style="list-style-type: none">• Balastros para descarga de alta intensidade (HID): Valores mínimos de IEE (exigida marcação);• Luminárias para fluorescência só podem ser colocadas no mercado com balastros eletrônicos Classe A1 e A2 (exceto luminárias estanques IP>IP4X);• Standby máximo de 0,5W na fluorescência.	
2017 - Fase 3	13/04/2017
<ul style="list-style-type: none">• Proibição de colocação no mercado: Todos os balastros eletromagnéticos para fluorescência e balastros eletrônicos Classe A3 standard para fluorescência.	

Anexo C

Tabela C1 - Valores de Iluminância no Piso 1 (Nascente)

Espaço	Iluminância Média (lux)	Valores Registrados (lux)	Valores Recomendados (lux)	Categoria do Espaço	Classe de Tarefas Visuais
I177	56	24	50 - 75 - 100	Área de uso interrupto: Orientação Simples para Permanência Curta	A
		74			
		70			
I124	484	498	300 - 500 - 750	Laboratório: Bancada de trabalho com computador	B
		470			
I179	134	72	75 - 100 - 150	Corredores / Escadas	A
		76			
		355			
		33			
WC Homens - Piso 1	255	255	100 - 150 - 200	Lavatórios / Lavabos	A
WC Deficientes - Piso 1	195	195	100 - 150 - 200	Lavatórios / Lavabos	A

I176	73	69	75 - 100 - 150	Corredores / Escadas	A
		49			
		101			

Tabela C2 - Valores de Iluminância no Piso 2 (Nascente)

Espaço	Iluminância Média (lux)	Valores Registrados (lux)	Valores Recomendados (lux)	Categoria do Espaço	Classe de Tarefas Visuais
I277	40	19	50 - 75 - 100	Área de uso interrupto: Orientação Simples para Permanência Curta	A
		65			
		37			
I279	117	72	75 - 100 - 150	Corredores / Escadas	A
		22			
		353			
		21			
I221	193	120	300 - 500 - 750	Laboratório: Bancada de trabalho com computador	B
		208			
		252			
I232	115	73	300 - 500 - 750	Escritório: Escrita, dactilografia, tratamento de dados. Posto de trabalho com computador.	B
		156			
WC Homens - Piso 2	142	173	100 - 150 - 200	Lavatórios / Lavabos	A
		110			
WC Deficientes - Piso 2	209	209	100 - 150 - 200	Lavatórios / Lavabos	A
I276	98	85	75 - 100 - 150	Corredores / Escadas	A
		72			
		137			

Tabela C3 - Valores de Iluminância no Piso 3 (Nascente)

Espaço	Iluminância Média (lux)	Valores Registrados (lux)	Valores Recomendados (lux)	Categoria do Espaço	Classe de Tarefas Visuais
I377	50	22	50 - 75 - 100	Área de uso interrupto: Orientação Simples para Permanência Curta	A
		42			
		86			
I379	118	83	75 - 100 - 150	Corredores / Escadas	A
		350			
		15			
		25			
I376	86	102	75 - 100 - 150	Corredores / Escadas	A
		77			
		80			
I329	369	330	300 - 500 - 750	Escritório: Escrita, dactilografia, tratamento de dados. Posto de trabalho com computador.	B
		408			
I321	461	447	300 - 500 - 750	Laboratório: Bancada de trabalho com computador	B
		517			
		420			

Tabela C4 - Valores de Iluminância no Piso -1 (Nascente e Poente)

Espaço	Iluminância Média (lux)	Valores Registrados (lux)	Valores Recomendados (lux)	Categoria do Espaço	Classe de Tarefas Visuais
I-173	53	108	50 - 75 - 100		A
		18			

		34		Área de uso interrupto: Orientação Simples para Permanência Curta	
		370			
I-108	339	506	300 - 500 - 750	Laboratório de trabalho geral	B
		141			
I-174	308,5	284	50 - 75 - 100	Área de uso interrupto: Orientação Simples para Permanência Curta	A
		333			
I-175	98	76	75 - 100 - 150	Corredores / Escadas	A
		157			
		61			
I-194	145,5	185	100 - 150 - 200	Lavatórios / Lavabos	A
		106			
I-111	786	671	500 - 750 - 1000	Laboratório de Microeletrônica: Bancada de montagem e inspeção	C
		901			
I-109	747,5	879	500 - 750 - 1000	Laboratório de Microeletrônica: Bancada de montagem e inspeção	C
		616			
I-172	143,75	53	75 - 100 - 150	Corredores / Escadas	A
		11			
		234			
		277			
I-102	219,3	234	200 - 300 - 500	Oficina: Dimensionamento, plainagem, colagem, folheamento e montagem.	B
		164			
		260			

Anexo D

Tabela D1 - Consumos Energéticos Estimados para os Pisos do Edifício I

	Piso 0 N + P	Piso 1 N	Piso 2 N	Piso 3 N
Potência Consumida por Luminárias (W)	3992	726	394	610
Potência Total Consumida (Luminárias + Computadores + Fotocopiadoras) (W)	4132	1101	991,3	1054,6
Energia Total Cons. Por Lum. 7 horas (00.00h/07.00h) (Wh)	27944	5082	2758	4270
Energia Total Cons. 7 horas (00.00h/07.00h) (Wh)	28924	7707	6939,1	7382,2
	Piso -1 N + P	Piso 1 P	Piso 2 P	Piso 3 P
Potência Consumida por Luminárias (W)	4580	1498	732	1262
Potência Total Consumida (Luminárias + Computadores + Fotocopiadoras) (W)	10123	2067,6	857	1262
Energia Total Cons. Por Lum. 7 horas (00.00h/07.00h) (Wh)	32060	10486	5124	8834
Energia Total Cons. 7 horas (00.00h/07.00h) (Wh)	70861	14473,2	5999	8834

Tabela D2 - Consumos Energéticos Estimados para a Iluminação Pública das Zonas Comuns do Edifício I

Iluminação Exterior	
Potência Consumida por Luminárias (W)	504
Energia Total Cons. Por Lum. 11 horas (20.00h/07.00h) (Wh)	5544

Tabela D3 - Consumos Energéticos Globais do Edifício I, no Período das 00.00h às 07.00h

Potência Total Consumida por Luminárias Interiores (W)	14780
+10% Balastros Magnéticos (W)	1478
TOTAL (W)	16258
Energia Total Cons. Por Lum. 7 horas (00.00h/07.00h) (Wh)	113806
Potência Total Consumida (Luminárias + Computadores + Fotocopiadoras) (W)	18908,7
Energia Total Cons. 7 horas (00.00h/07.00h) (Wh)	132361

*Considerando a soma dos equipamentos das áreas comuns de todos os pisos, e das salas de estudo I011 e I101.